MEMORIAS DEL 63° CONGRESO INTERNACIONAL DE ACODAL: AGUA, SANEAMIENTO, AMBIENTE Y ENERGÍAS RENOVABLES.

SEXAGÉSIMA TERCERA VERSIÓN – 2, 3, 4 DE SEPTIEMBRE DE 2020

Nelson Castaño Contreras
Michelle Feuillet Guerrero
COMPILADORES

Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - ACODAL
Diagonal 60 No. 22 - 20 Bogotá D.C.
E-mail: gerencia@acodal.org.co - congreso@acodal.org.co http://congresos.acodal.org.co/

JUNTA DIRECTIVA

PRESIDENTE JUNTA DIRECTIVA:
Ignacio Restrepo Baquero

VICEPRESIDENTE JUNTA DIRECTIVA:
Geovanis Arrieta Bernate

SECTOR DE SERVICIOS AMBIENTALES, CONSTRUCCIÓN O CONSULTORÍA:
Gestión y Resultados, Rocío del Pilar Arrieta Bernate – Geovanis Arrieta B.

MIEMBROS PERSONALES:
Ignacio Restrepo Baquero (p) - Germán Espejo Mejía (s)
Carlos Rufino Costa Posada (p) - Luis Fernando Ramos Parra (s)

SECTOR INDUSTRIAL Y COMERCIAL:
PAVCO. Pedro Nel González Escobar
ACUATUBOS. Lina Isabel Botero, Juan Camilo Meriño

SECTOR SERVICIOS PÚBLICOS:
-Empresa de Servicios Públicos de Chía A.A.A E.S.P. Jairo Pinzón Guerra, Jaime A. Castro
-PROMOAMBIENTAL – Tomás Mendoza Pardo

SECTOR UNIVERSITARIO:
Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Carlos Yesid Rozo Álvarez

VEEDOR:
Jorge Enrique Ángel

PRESIDENTE EJECUTIVA:
Maryluz Mejía de Pumarejo

MIEMBROS SECCIONALES:

Seccional Centro
Presidente: Carlos Andrés Eduardo Villamil

Seccional Occidente
Presidente: Hugo Salazar Jaramillo

Seccional Noroccidente
Presidente: Jaime Laino Quiceno

Seccional Caribe
Presidente: Néstor Escorcia

CONGRESO INTERNACIONAL DE ACODAL: AGUA, SANEAMIENTO, AMBIENTE Y ENERGÍAS RENOVABLES.

Esta es una publicación de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ACODAL.

Se recogen aquí las memorias del 63° Congreso Internacional de Agua, Saneamiento, Ambiente y
Energías Renovables, evento que se realizó de manera virtual.

ISSN: 2539-0309 (En línea)
Bogotá, 06 de Octubre del 2020.
©©Compiladores:
Michelle Feuillet Guerrero
Nelson Castaño Contreras
©© Varios Autores
©© Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – ACODAL
Diagonal 60 No. 22 – 20
Bogotá D.C., Colombia
PBX: 706 09 00
investigacion@acodal.org.co
Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción total o parcial, por cualquier medio o método sin autorización por escrito de ACODAL.

2, 3 y 4 de Septiembre 2020

Bayern International

63° Congreso Internacional VIRTUAL
Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables

BID

BANCO MUNDIAL
BIRF • AIF

MEMORIAS DEL 63° CONGRESO INTERNACIONAL DE ACODAL: AGUA, SANEAMIENTO, AMBIENTE Y ENERGÍAS RENOVABLES.

SEXAGÉSIMA TERCERA VERSIÓN

2, 3, 4 DE SEPTIEMBRE DE 2020

Nelson Castaño Contreras
Michelle Feuillet Guerrero
COMPILADORES

ACODAL Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - ACODAL
Diagonal 60 No. 22 - 20 Bogotá D.C.
E-mail: gerencia@acodal.org.co - congreso@acodal.org.co http://congresos.acodal.org.co/

Contenido

PRESENTACIÓN 9

INCIDENCIA DEL FENÓMENO CORTE CUELLO DE MEANDRO SOBRE LA POBLACIÓN DE SAN JOSÉ DEL GUAVIARE 10

POLÍTICAS PÚBLICAS SECTORIALES PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS DE MÉXICO. ESTUDIO DE CASO: LA RHA XII PENÍNSULA DE YUCATÁN 19

ESTIMACIÓN DE FLUJOS DE AGUA VIRTUAL DEL SECTOR AGRÍCOLA EN COLOMBIA 29

EVALUACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD PARA CAUDALES DEL RÍO META, COLOMBIA 35

EVALUACIÓN DE LIMPIEZA QUÍMICA Y CON ULTRASONIDO EN DIFUSORES DE BURBUJA FINA USADOS EN PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL 43

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LA CORTEZA DE NARANJA (CITRUS SINENSIS), BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (SACCHARUM OFFICINARUM) Y BORRA DE CAFÉ (COFFEA ARABICA) PARA LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL BRILLANTE FCF 51

RELACIONES EXPLÍCITAS ENTRE LOS COEFICIENTES DE RUGOSIDAD EN TUBERÍAS: ¿UNA LUZ AL FINAL DEL DILEMA? 62

CONSTRUCCIÓN DEL OBSERVATORIO DE ECONOMÍA CIRCULAR E INNOVACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE 71

ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE AUTODIAGNÓSTICO EN ECONOMÍA CIRCULAR PARA TODO TIPO DE INDUSTRIAS EN COLOMBIA A TRAVÉS DEL METABOLISMO MATERIAL 80

ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DE LOS EVENTOS DE TORMENTAS ELÉCTRICAS Y GRANIZADAS QUE AFECTARON LA CIUDAD DE BOGOTÁ ENTRE 1960 Y 2018 86

COLECTOR SOLAR PLANO CON ALMACENAMIENTO DE CALOR PARA PRODUCIR AIRE CLIENTE 97

AFECTACIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO URBANO POR ELEMENTOS ATÍPICOS ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN VISUAL DE SECTORES COMERCIALES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ 106

EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN LA HUMEDAD, DENSIDAD APARENTE Y MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO POR EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL NATURAL. CASO DE ESTUDIO: PÁRAMO DE BERLÍN – COLOMBIA 112

VALORACIÓN ECONÓMICA DE SERVICIOS AMBIENTALES –CAPTURA DE CARBONO– EN EL PÁRAMO LA CORTADERA, BOYACÁ..... 125

IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EL MUNICIPIO DE COTA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ. 134

PROGRAMA “VISCER” EN EL DESARROLLO DE ACTITUDES DE JEFES Y JEFAS DE FAMILIA HACIA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD DE ACHIPAMPA, DISTRITO DE YANACANCHA, PROVINCIA D CHUPACA, REGIÓN JUNÍN 144

MATERIALES DE REFERENCIA CERTIFICADOS: HERRAMIENTAS ANALÍTICAS PARA MEJORAR LAS MEDICIONES DE CALIDAD DEL AGUA 151

TRATAMIENTO DE AGUAS DESCARGADAS EN DRENAJE NATURAL URBANO CON BUCHÓN DE AGUA. 161

FORMULACIÓN DE LOS LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE EVALUACIÓN DEL PERMISO DE OCUPACIÓN DE CAUCES, PLAYAS Y LECHOS EN

PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL POR PARTE DE LA AUTORIDAD AMBIENTAL DE LICENCIAS AMBIENTALES HACIA LAS DEMÁS AUTORIDADES AMBIENTALES NACIONALES 171

ADSORCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUA A PARTIR DEL LOS RESIDUOS DE CÁSCARAS DE NARANJA EN TRES CONDICIONES DE ESTUDIO 180

EXPERIENCIAS EN GESTIÓN DE RESIDUOS APROVECHABLES PARA LA PROMOCIÓN DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LOS MUNICIPIOS DE TABIO, SIBATE Y NEMOCON- COLOMBIA 190

RETOS Y LIMITACIONES DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EFECTIVA DE LA ECONOMÍA CIRCULAR: CASO RAEE 197

FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS JURÍDICO-TÉCNICAS BASADAS EN LEGISLACIÓN VIGENTE DE ESPAÑA Y LA UNIÓN EUROPEA, PARA LA FORMULACIÓN DE POLÍTICA SOBRE ECONOMÍA CIRCULAR EN COLOMBIA 204

PROPUESTA DE INDICADORES PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN COLOMBIA 210

EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR Y PRIMARIO DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN UNA INDUSTRIA DE BOTANAS EN LA GRITA (TÁCHIRA-VENEZUELA) 215

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO EN SUELOS DE PÁRAMO EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ: CASO DE ESTUDIO PÁRAMO LA CORTADERA 226

TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA LA REMOCIÓN DE ZN (II) CON EL EMPLEO DE BACTERIAS: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (2010-2019)..... 234

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA POR EL DISTRITO DE RIEGO USOCHICAMOCHA PARA DETERMINAR SU INCIDENCIA EN LOS CULTIVOS DEL ÁREA EN BOYACÁ, COLOMBIA. 245

CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS COMO SERVICIO AMBIENTAL. CASO DE ESTUDIO: PÁRAMO LA CORTADERA 255

DESARROLLO DE VISOR GEOGRÁFICO PARA LA VISUALIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE RAEES EN COLOMBIA..... 263

PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DEL MÉTODO DE PIRÓLISIS POR MICROONDAS UTILIZANDO RETAMO ESPINOSO (*Ulex europeaus)* Y/O LISO (*Teline monspessulana)*, PARA ENMIENDA DE SUELOS. CASO DE ESTUDIO: FINCA "BARCELONA" CHOACHÍ - CUNDINAMARCA..... 269

ACREDITACIÓN CON LA NTC ISO/IEC 17025 DE UN LABORATORIO DEANÁLISIS DE AGUA POTABLE.....278

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA CAPTACIÓN DEL AGUA ATMOSFÉRICA ACORDE A LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ 287

SISTEMA DESCENTRALIZADO DE DESALINIZACIÓN DE AGUA BASADO EN ENERGÍA SOLAR PARA GENERAR VOLÚMENES DE AGUA SEGURA EN LA COMUNIDAD INDÍGENA DE PARENSKAT LA GUAJIRA.....296

APORTE DE LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA A LA GESTIÓN DEL CLIMA CAMBIANTE EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY 306

PRESENTACIÓN

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental –ACODAL, realizó el 63° Congreso Internacional de Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables - EXPOAGUA 2020, de forma virtual los días 2, 3 y 4 de septiembre de 2020.

En esta ocasión se contó con el ESTADO FEDERADO DE BAYERN como Invitado de Honor y con el Banco Interamericano de Desarrollo – BID y el Banco Mundial como instituciones aliadas. En su carácter de evento internacional, también se contó con la presencia de representantes de países Aliados como Canadá, España, Estados Unidos, Holanda, México y Suiza. Motivo por el cual los más reconocidos especialistas y empresarios de los sectores académicos, industrial, tecnológico y financiero se dieron en este evento de calidad excepcional.

Durante los tres días se presentó una excepcional agenda académica en temas de tecnología, innovación e investigación, las cuales estuvieron a cargo de expertos internacionales en las modalidades conferencias magistrales, conversatorios, paneles y master class.

Se desarrolló una selecta muestra comercial virtual, mesas de negocios y encuentros multisectoriales donde las autoridades y los gobiernos de nivel Internacional, nacional y regional presentaron y discutieron sobre las iniciativas mundiales, legislativas e inversiones sectoriales.

En este documento encontrarán las memorias ISBN de los trabajos técnicos en versión completa que fueron presentados durante el evento, y los cuales son investigaciones de interés que se han realizado por diferentes organizaciones y universidades locales e internacionales en diferentes sectores del agua y medio ambiente las cuales son referentes en el sector.

Agradecemos a todos los que hicieron posible el desarrollo de este evento, en especial, a los representantes de las organizaciones Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS, Water Environment Federation - WEF, Foundation for Environmental Education - FEE, International Water Association - IWA. Esperamos, mediante el presente documento, contribuir al desarrollo de la ingeniería y fortalecimiento de la ingeniería.

INCIDENCIA DEL FENÓMENO CORTE CUELLO DE MEANDRO SOBRE LA POBLACIÓN DE SAN JOSÉ DEL GUAVIARE

Incidence of the phenomenon of meander neck cut on the population of San José del Guaviare

Sharon Paola Lucas[1] Julio Ernesto Ortega[1] Alejandro Franco Rojas[1*].

[1]Dpto. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Salle, Colombia
[*]*Autor Corresponsal:* Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Cra. 2, No. 10-70, La Candelaria, Bogotá D.C, Cundinamarca. 111711237. Colombia. Email: afrancor@unisalle.edu.co

Abstract
The municipality of San José is located on the margin of a meander of the Guaviare River, whose channel is used for activities such as recreation, transport and fishing, however, since 1989 has been perceived a narrowing of this meander. To curb the process of cutting meander, in 2003 spurs were built on the left bank, which in turn were renovated in 2011. In response to the restriction to the natural movement of the river, shoreline undermining processes have been intensified in some sectors of the municipality, which is why, in this investigation, the incidence of the meander neck cut phenomenon of the Guaviare River was diagnosed on the population of San José, using multitemporal analysis of satellite images and vulnerability matrices.

Although the use of spurs allowed the accumulation of sediments in the neck of the meander, the analysis of fluvial dynamics showed a process of undermining with displacement rate of up to 31m/year, affecting informal housing and the battalion, being the neighborhood El Mosquito the most affected. For San José del Guaviare a meander cut results in a significant increase in the vulnerability of the inhabitants, especially river transporters and fishermen, those who are more dependent on the river and would choose to leave the city before an eventual meander cut.

Key words: Meander neck, River dynamics, Impact assessment, Scour

INCIDENCIA DEL FENÓMENO CORTE CUELLO DE MEANDRO SOBRE LA POBLACIÓN DE SAN JOSÉ DEL GUAVIARE

Resumen

El municipio de San José está ubicado sobre la margen de uno meandro del río Guaviare, cuyo cauce es empleado para actividades como la recreación, el transporte y la pesca, sin embargo, desde el año 1989 se ha percibido un estrechamiento de este meandro. Para frenar el proceso de corte de meandro, en el año 2003 se construyeron espolones en la margen izquierda, que a su vez fueron renovados en 2011. En respuesta a la restricción al movimiento natural del rio, se han intensificado en algunos sectores del municipio procesos de socavación de orillas, razón por la cual, en esta investigación se diagnosticó la incidencia del fenómeno corte cuello de meandro del río Guaviare sobre la población e infraestructura pública de San José, utilizando para ello el análisis multitemporal de imágenes satelitales y matrices de vulnerabilidad.

Aunque el uso de espolones permitió la acumulación de sedimentos en el cuello del meandro, el análisis de dinámica fluvial evidenció un proceso de socavación con tasa de desplazamiento de hasta 31m/año, con afectación de viviendas informales y el batallón, siendo el barrio El Mosquito el más afectado. Para San José del Guaviare un corte de meandro se traduce en un aumento significativo en la vulnerabilidad de los habitantes, especialmente transportadores fluviales y pescadores, quienes tienen mayor dependencia del río y optarían por abandonar la ciudad ante un eventual corte del meandro.

Palabras clave: Cuello de meandro, Dinámica fluvial, Evaluación de impactos, Socavación

Introducción

Los ríos varían de forma durante su curso, desarrollando patrones en planta y sección transversal, que son el reflejo de los ajustes en los gradientes del canal, así como de la carga de sedimentos y caudal líquido. Al respecto, la morfología fluvial no solo registra la historia del régimen del cauce, sino que permite prever su evolución futura. En particular, los ríos de planicie aluvial se caracterizan por un continuo desplazamiento lateral y por la presencia de meandros, comportamiento que según Schumm, (Citado por Rodríguez, 2010) es el resultado de un incremento en la carga de sedimentos y reducción en su pendiente, induciendo la metamorfosis del cauce de recto a meandrico, con los consecuentes fenómenos de erosión, deposición y corte de cuello de meandro. Este corte, da lugar a una madre vieja (Ochoa Rubio, 2011) (p.489), con una creciente colmatación en la parte inicial del meandro por medio de un bucle y un estrechamiento del cuello del meandro, hasta que finalmente se corta dicho cuello y la pendiente del río aumenta (ver Figura 1).

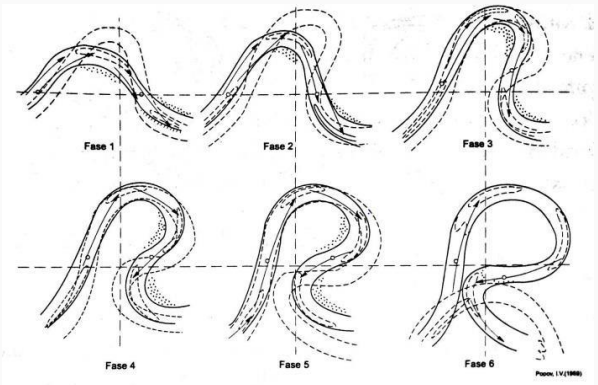


Figura 1. Desarrollo secuencial de un meandro libre, según Kondratiev, N.E (1953).
Fuente: (Ochoa Rubio, 2011), p.490.

Por su parte, Rodríguez y Albarracín (2016) plantean la vulnerabilidad como una unidad, compuesta por la vulnerabilidad por exposición, por fragilidad y por capacidad de adaptación y respuesta resiliencia, cada una, valorada a partir de una serie de impactos en sus componentes. En el caso de la vulnerabilidad por exposición, se involucran los sistemas de producción, infraestructura, población y ecosistemas (Ver Figura 2).

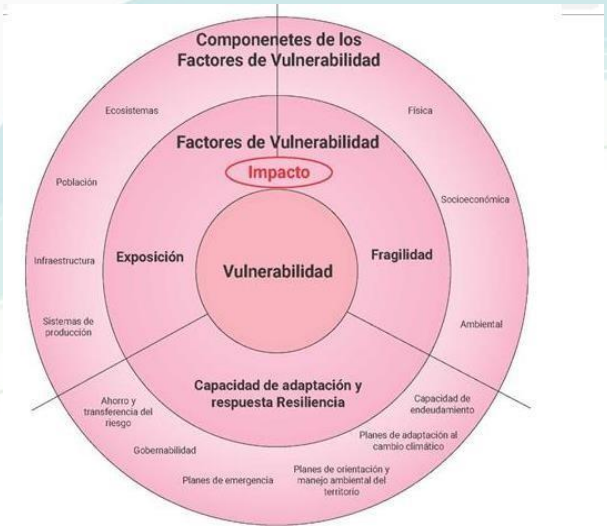


Figura 2. Componentes y factores de vulnerabilidad.
Fuente: (Vera Rodriguez & Albarracin Calderon, 2016)**,** p.109.

El municipio de San José del Guaviare fue construido en la margen derecha de un meandro del río Guaviare, permitiéndole destacarse como un municipio pesquero y centralidad a nivel regional. La posición del meandro, la variación de nivel del agua y las altas velocidadesdel río Guaviare ha propiciado la socavación del cuello de meandro, amenazando con abandonar su trayectoria frente a San José del Guaviare donde actualmente se hacen vertimientos de aguas residuales y donde se encuentra el muelle fluvial (ver Figura 3).

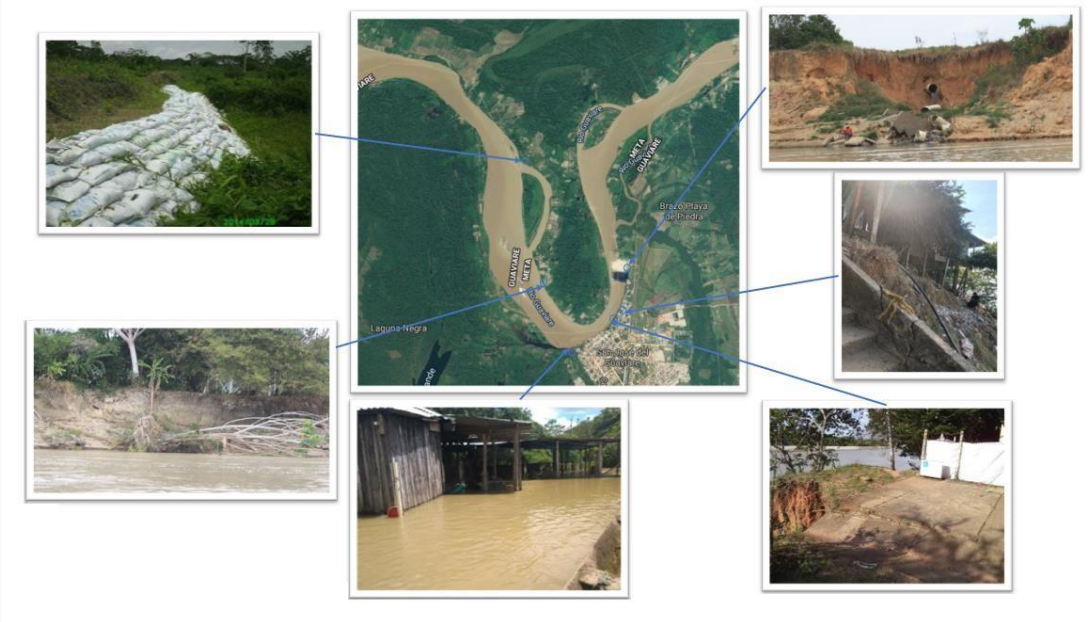


Figura 3. Evidencia del proceso de socavación en el cuello de meandro de San José del Guaviare

El fenómeno corte cuello de meandro del río Guaviare ha sido objeto de gran preocupación, razón por la cual se han construido muros de protección y espolones (ver Figura 4). Dichas intervenciones han interrumpido el movimiento natural de río Guaviare, demandando altos costos económicos e implicaciones sobre la población.

Figura 4. Obras de estabilización y encauzamiento en el río Guaviare, a) enrocado sobre la margen derecha, b) espolón margen izquierda del río Guaviare.

Metodología

Por medio de un análisis multitemporal se determinó la estabilidad general del cauce, en donde se valoraron imágenes satelitales de los años 1969, 1990, 2000, 2010 y 2019. En cada imagen se identificó la orilla del cauce y las geoformas de origen aluvial, como basin, albardón de orilla, barras de sedimento, canal de estiaje, vega, meandros abandonados, terraza y llanura aluvial. Complementariamente, se definieron 28 secciones transversales para cuantificar el desplazamiento lateral del meandro, procesos de socavación de orilla y el mismo corte del meandro.

Se evaluaron los impactos con una modificación propuesta en base a la metodología de CONESA, en donde no se consideran aspectos como momento, reversibilidad y recuperabilidad a fin de evaluar los impactos por su naturaleza y no por la capacidad de recuperación, adicionalmente se introdujo en la ecuación el ítem de costo, según se muestra en la siguiente ecuación.

$$I = 100 * \frac{3In+2Ex+Pe+S+Ac}{76}$$ **Ecuación (1)**

Donde

I: Valoración del impacto.
In: Intensidad
Ex: Extensión
Pe: Persistencia
S: Sinergia
Ac: Acumulación

Se realizó una visita de campo, en donde se exploraron ambos costados del cuello del meandro, además se realizaron 230 encuestas, con el fin de valorar la opinión de la población con respecto al fenómeno y servir de base para la valoración de la vulnerabilidad. En la visita de campo se tomaron registros fotográficos de las estructuras de contención y de otras estructuras susceptibles a las acciones erosivas o procesos de socavación del rio, identificando así las áreas en donde estos procesos se presentan de una forma más marcada.

Resultados

Del análisis por secciones transversales entre 1969 y 2019, vale la pena resaltar:

- Los mayores desplazamientos laterales se observaron en los cortes 10, 11, 12 y 13, sector que actualmente es ocupado por viviendas informales, cuya población depende del rio, bien sea en actividades de pesca o de agricultura.
- La barra de sedimento ubicada entre los cortes 22 a 24, se ha desplazado hacia aguas abajo.
- La aparición en el último periodo de un nuevo canal de estiaje entre los cortes 19 y 23.

- Movimientos del cauce de hasta 31 m/año en los cortes 7 y 8, aguas arriba del área urbana.

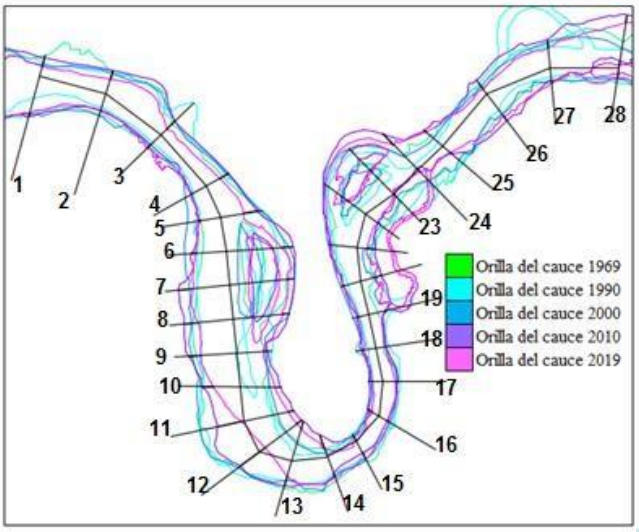


Figura 5. Análisis de desplazamiento lateral de orillas del río Guaviare para diferentes años

Con respecto a la margen izquierda del cuello del meandro, se nota un movimiento de su barra de sedimento, disminuyendo el canal del mismo, este hecho es favorable, puesto que impide que los altos volúmenes de agua produzcan la erosión lateral. Se puede observar como después del año 2000 se ha generado deposición de sedimentos por acción de los espolones, y como se ha venido recuperando el cuello del meandro. La construcción de los espolones indujo un achatamiento en la margen izquierda de la punta del meandro (parte interior del meandro), esta es una respuesta al confinamiento del cuello del meandro y de la punta del mismo en la margen derecha (lugar donde se encuentra San José del Guaviare).

El confinamiento del meandro mediante espolones, aunque mitigo el proceso de corte, indujo un cambio apreciable aguas arriba de San José, como lo es el movimiento de la barra de sedimento y la aparición de un nuevo canal de estiaje, además de significativos movimientos laterales del cauce. Sobre la infraestructura pública, se resalta la generación de esfuerzos sobre el concreto por desplazamiento del material de soporte, lo que produce desprendimiento de bloques en las estructuras cercanas a las márgenes del río.

Se elaboraron dos matrices de vulnerabilidad, la primera matriz contemplo los impactos actuales ocasionados asociados a la socavación sobre la margen derecha del rio, puesto que el hecho de evitar el corte ha generado impactos sobre la población e infraestructura

por la acción natural del río y por su reacción ante las obras de protección que se han instalado para evitar el corte del meandro (ver Tabla 1). La segunda matriz contemplo los impactos ocasionados por el posible corte al cuello del meandro, es decir que son impactos valorados bajo el hecho de un corte inminente (ver Tabla 2).

Tabla 1. Impactos más significativos por socavación de orillas en San José del Guaviare – Condición actual

IMPACTO GRAVE | IMPACTO MEDIO ALTO | IMPACTO MEDIO BAJO | IMPACTO BAJO

FACTOR	COMPONENTE	IMPACTO	EFECTO	IMPACTO
Infraestructura	Escaleras de paso	Desprendimiento de bloques	Imposibilidad de acceso	0.54
	Enrocado	Desprendimiento del enrocado	Debilitamiento de la ladera	0.49
	Espolones	Desprendimiento de espolones	Erosion en el cuello	0.55
	Puerto	Desprendimiento de la estructura	Problemas en transporte fluvial	0.46
		Socavacion de la estructura	Daño del puerto	0.49
Poblacion	Bienes	Inundamiento de lotes	Perdida del uso del bien	0.55
	Estilo de vida	Inundacion	Perdida del trabajo	0.39
		Socavacion de estructuras	Peligro para la comunidad	0.43
		Aumento costo de vida	Dificultad para vivir	0.39
	Recreacion	Presencia del conjunto de impactos negativos	Mala imagen turistica	0.34
ECOSISTEMAS	Fauna	Erosion del cuello	Perdida de habitat delos animales	0.33
	Flora	Erosion del cuello	Perdida de especies vegetales	0.33

Como resultado se tiene que los impactos actuales asociados a la socavación lateral del río, tienen efectos críticos sobre la infraestructura, con una valoración superior a 0.46 en todos los componentes, mientras que la valoración de la población solo alcanzo 0.55 sobre los bienes materiales, y los ecosistemas obtuvieron una valoración máxima de 0.33. Este hecho se debe a que la infraestructura es un factor importante para toda la población, por cuanto gran parte de ella hace uso de dichas obras (ver Tabla 1).

Tabla 2. Impactos más significativos en caso de corte de meandro en San José del Guaviare

IMPACTO GRAVE | IMPACTO MEDIO ALTO | IMPACTO MEDIO BAJO | IMPACTO BAJO

FACTOR	COMPONENTE	IMPACTO	EFECTO	IMPACTO
Infraestructura	Transporte	migracion del rio	Perdida de medios de transporte	0.42
	Punto de vertimiento	migracion del rio	Perdida de punto de vertimiento	0.74
	Viviendas	Alejamiento del cauce del rio	Perdida del proposito ubicacional de las viviendas	0.55
Poblacion	Trabajo	Alejamiento del cauce del rio	Perdidas en el trabajo para Distintas profesiones	0.61
	Bienes	Disminucion de la disponibilidad de agua	Perdida del uso agricola y ganadero	0.61
	Estilo de vida	migracion del rio	Necesidad de adaptarde - Cambio de vivienda	0.61
		Vertimiento de aguas residuales	Ausencia de condiciones sanitairas	0.64
istemas de produccio	Cultivos	Perdida de condiciones del suelo	Disminucion en la produccion agricola	0.45
		Perdida de condiciones del suelo	Cambio de cultivos (necesidad de adaptacion)	0.45
	Pesca	Alejamiento del rio	Dificultad en realizar la pesca	0.62
	Ganaderia	Ausencia de agua	Aumento en la dificultad de produccion	0.46
	Comercio	Aumento en el desempleo	Crisis economica	0.38
	Turismo	Alejamiento del rio	Perdida de atractivo turistico	0.43
	Transporte	ausencia de medios de transporte	Dificultad para transportarse	0.39
ECOSISTEMAS	Flora	vertimientos de aguas residuales	Contaminacion por vertimientos	0.46
	Fauna	vertimientos de aguas residuales	Contaminacion por vertimientos	0.39

En el escenario de corte de meandro, todos los impactos se incrementan, así mismo se verían afectados más componentes, como son los sistemas de producción y el vertimiento de aguas residuales, alcanzando en varios casos una valoración superior a 0.60, es decir, un escenario más severo que la condición actual (ver Tabla 2).

Según las encuestas, el mayor impacto del posible corte de meandro seria sobre la vivienda y las actividades productivas, afectando especialmente a los transportadores fluviales, pescadores y agricultores, por cuanto dependen de los recursos aportados por el río y sus inmuebles se localizan en la orilla del mismo (ver Tabla 3).

Tabla 3. Afectación del posible corte del meandro según ocupación de los habitantes de San José

OCUPACIÓN	Vivienda	Trabajo	Familiar	Nada
Comerciantes	20.8%	35.8%	13.2%	30.2%
Ganadero	0.0%	45.5%	36.4%	18.2%
Vendedor ambulante	15.0%	45.0%	25.0%	15.0%
Transportador fluvial	21.4%	71.4%	7.1%	0.0%
Pescador	31.8%	50.0%	0.0%	18.2%
Turismo	13.3%	46.7%	13.3%	26.7%
Agricultura	11.8%	70.6%	5.9%	11.8%

Conclusiones

El análisis multitemporal muestra que desde el 2010 el meandro de San José sufrió una acumulación de sedimentos en margen derecha, permitiendo la colonización por vegetación y el aumento de asentamientos informales sobre un depósito aluvial reciente, lo cual lo hace susceptible de erosión futura, por cuanto el meandro de San José del Guaviare aun no alcanza su delta máximo.

Los comerciantes, ganaderos, transportadores fluviales y agricultores residen cerca al cauce del rio, puesto que estos prefieren estar en un entorno socioeconómico afín y vivir cerca a su principal sustento a pesar de estar expuestos a continuas inundaciones y una posible socavación de orilla.

Dado al buen desempeño de los espolones y los altos impactos que ocasionaría el corte al cuello se considera razonable mantener la protección al cuello para evitar el corte del mismo, aunque la renovación de los espolones ayudaría a optimizar el proceso de acumulación de sedimentos. En contraste, permitir el corte del meandro, afectaría gran parte de la población del municipio de San José del Guaviare, especialmente las actividades económicas.

Aunque el corte del meandro se efectuará este se realizaría en un periodo largo de tiempo (20 años a una tasa de 31 m/año), permitiendo al municipio adaptarse a dicho cambio en el tiempo. En caso contrario, es de esperar en el corto plazo, aumento de la dinámica de las orillas del margen derecho del meandro, ocasionando afectaciones a la población e infraestructura por acciones erosivas o de socavación.

Referencias bibliográficas

Alcaldia de San Jose del Guaviare. (2012). *Plan basico de ordenamiento territorial.* San Jose del Guaviare.

Arboleda Gonzalez, J. A. (2008). *MANUAL PARA LA EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS, OBRAS O ACTIVIDADES .* Medellin.

Naranjo, D., & Danny, O. (2011). *Evaluacion de obras de proteccion en San Jose del Guaviare. Memorias del quinto simposio regional de rios.* Guaviare.

Ochoa Rubio, T. (2011). *Hidraulica de rios y procesos morfologicos* (Vol. 1). Bogota Dc, Colombia: ECOE EDICIONES.

Rodriguez Diaz, H. A. (2010). Hidraulica fluvial. Fundamentos y aplicaciones. Socavacion. 240.

Rubio, T. O. (2011). *Hidraulica de rios y procesos morfologicos* (1 ed.). Bogota DC, Colombia: Ecoe Ediciones.

Vera Rodriguez, J. M., & Albarracin Calderon, A. P. (2016). Metodologia para el anailis de vulnerabilidad ante amenazas de inundacion, remocion en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrograficas. *Ciencia e ingenieria Neogranadina, 27*.

POLÍTICAS PÚBLICAS SECTORIALES PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS DE MÉXICO. ESTUDIO DE CASO: LA RHA XII PENÍNSULA DE YUCATÁN

Pedro Guido-Aldana[1*], Adriana Ramírez-Camperos[2],

[1]Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA
[2]Investigadora independiente. México.

**Autor corresponsal:* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac No. 8532 Colonia Progreso, CP 62550, Jiutepec, Morelos, México. Email: pedroguido@tlaloc.imta.mx

Sectoral public policies for climate change in the hydrological-administrative regions of Mexico. Case study: RHA XII Yucatan Peninsula

Abstract

Mexico is a country with a great environmental wealth that faces processes of accelerated transformation due to the increase of economic and social activities. Water is the central axis of sustainable development and is crucial for progress on issues such as energy generation, food production and ecosystem conservation. Its proper management involves the challenges of climate change and new public policies, constituting a fundamental link between society and the environment. To achieve an adequate water resource management, Mexico is divided into thirteen administrative hydrological regions (RHA), with a wide gradient of environmental, economic and social aspects. This paper aims to identify the impact of climate change on global and local sectors and the public policies that are implemented for the particular case of RHA XII Yucatan Peninsula, from three points of view: environmental, economic and social, along with the background in the literature. Results indicate that due to its geographical conditions and maritime influence, this region is sensitive to suffer from climatic impacts (tropical waves, hurricanes) that in the short term can intensify in number, frequency and intensity, and may cause desertification processes. It is concluded that public policies focused on climate change must be considered in development plans. Also, the RHA XII shows the need to adapt national and regional public policies, and a participatory planning in the region, that promotes its socio-economic development and the preservation of the environment.

Key Words: public policies, climate change, environment, water security, sustainable development.

POLÍTICAS PÚBLICAS SECTORIALES PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS DE MÉXICO. ESTUDIO DE CASO: LA RHA XII PENÍNSULA DE YUCATÁN

Resumen

México es un país con una gran riqueza ambiental que enfrenta procesos de acelerada transformación debido al incremento de las actividades económicas y sociales. El agua constituye el eje central del desarrollo sostenible y resulta crucial para el progreso en temas como la generación de energía, producción de alimentos y conservación de los ecosistemas. Su adecuada gestión involucra los retos en materia de cambio climático y nuevas políticas públicas, constituyendo un vínculo fundamental entre la sociedad y el medioambiente. Para lograr una adecuada gestión del recurso hídrico, México está dividido en trece regiones hidrológico administrativas (RHA), con un amplio gradiente de aspectos ambientales, económicos y sociales. Este artículo tiene como objetivo identificar el impacto del cambio climático en los sectores a nivel global y local y las políticas públicas que se implementan para el caso particular de la RHA XII Península de Yucatán, desde tres puntos de vista: ambiental, económico y social, junto con los antecedentes en la literatura. Los resultados indican que por sus condiciones geográficas y la influencia marítima, esta región es sensible a sufrir por los impactos climáticos (ondas tropicales, huracanes) que en el corto plazo pueden intensificarse en número, frecuencia e intensidad, pudiendo ocasionar procesos de desertización. Se concluye que las políticas públicas enfocadas al cambio climático deben ser consideradas en los planes de desarrollo. Además, la RHA XII muestra la necesidad de adaptar políticas públicas nacionales y regionales, y una planificación participativa en la región, que impulse su desarrollo socioeconómico y la preservación del medio ambiente.

Palabras clave: políticas públicas, cambio climático, medio ambiente, seguridad hídrica, desarrollo sostenible.

Introducción

En México hay regiones donde el recurso hídrico es más escaso o más abundante, se presentan sequías o lluvias intensas, por lo que resulta conveniente conocer los factores que determinan el clima del país. México se localiza en el hemisferio norte; el trópico de Cáncer atraviesa al país en su parte central, de manera que una parte se localiza dentro de la zona intertropical y otra en la subtropical. Gran parte de su territorio se ubica en la franja de alta presión de latitud norte y, como consecuencia, estas zonas son áridas y semiáridas, coincidiendo en latitud con las zonas de los grandes desiertos africanos y asiáticos (figura 1).

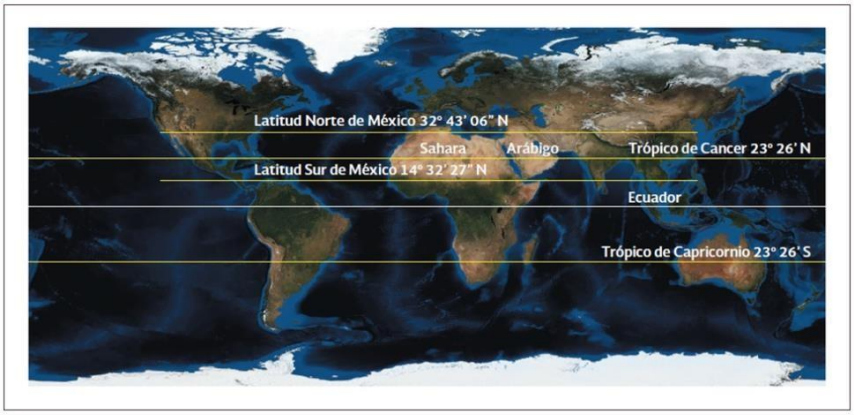


Figura 1. Ubicación geográfica de México (Conagua, 2017).

Estos patrones, a su vez, están vinculados con otros factores como son la orografía (el relieve heterogéneo propicia diferentes climas y estos a su vez una gran variedad de flora y fauna), cercanía a los océanos, cobertura vegetal y uso del suelo por las actividades humanas. Todos estos elementos condicionan además los retos en materia hídrica, cambio climático y políticas públicas. Guido 2019 menciona las características de las regiones más sobresalientes:

- RHA XII Península de Yucatán (ésta investigación): es la más dependiente de las aguas subterráneas. El 96.6% del agua consumida (4,009 Mm^3) proviene de sus cuatro acuíferos.
- RHA VI Río Bravo: es la mayor de todas, con una extensión de 390,440 km^2 (19.93% del territorio nacional), mientras que la más pequeña es la RHA XIII Aguas del Valle de México, con una extensión de 18,229 km^2 (0.93% de territorio nacional).
- RHA XIII Aguas del Valle de México: es la más densamente poblada, con 1,272 hab/km^2, además de ser la de mayor grado de presión sobre el recurso hídrico (138%), con apenas un índice de agua renovable per cápita de 148 m^3/hab/año. Su aportación al producto interno bruto (PIB) nacional es del 24.49%, el mayor de todas las RHA.
- RHA XI Frontera Sur: es la más húmeda, con una precipitación normal anual (1981-2010) de 2,295.4 mm, mientras que la RHA I Península de Baja California es la más seca, con solo 217.2 mm para el mismo periodo.
- La RHA XIII Aguas del Valle de México y la VII Cuencas Centrales del Norte son las únicas que no abarcan costa.

La RHA XII Península de Yucatán comprende los estados de Quintana Roo, Yucatán y Campeche. Colinda al norte y al poniente con el golfo de México, al sur con la república de Guatemala, al oriente con el mar Caribe, al suroeste con el estado de Tabasco y al sureste con Belice, con quien comparte la cuenca del río Hondo (figura 2).

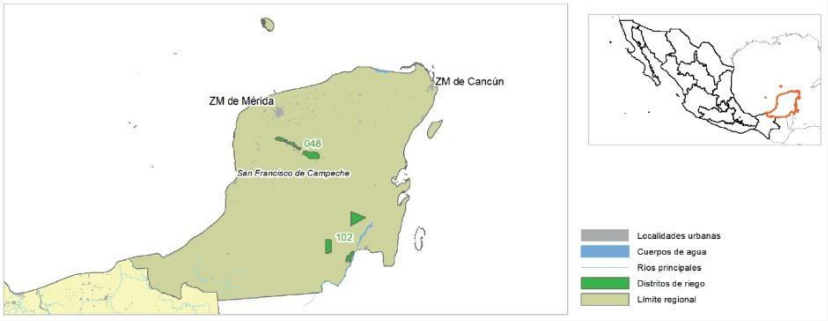


Figura 2. Ubicación de la RHA XII Península de Yucatán y ubicación en México (Guido, 2019).

Políticas públicas y cambio climático

El cambio climático es consecuencia de una externalidad negativa global (Stern, 2008), derivada del estilo de desarrollo en los últimos años. De esta forma, atender el reto climático requiere de la instrumentación de un conjunto de medidas de política pública a nivel sectorial que propicien una modificación de las formas de producción y consumo actuales. Estas pueden agruparse en dos clases: aquellas cuyo propósito es disminuir las emisiones de gases efecto invernadero - GEI (políticas para la mitigación) y de adaptación (IPCC, 2007). Existen además casos mixtos, por ejemplo, las políticas de conservación de los ecosistemas que atienden la adaptación y mitigación (disminución de las emisiones de CO_2 por deforestación y la adaptación de los ecosistemas a los impactos del cambio climático).

Las políticas públicas pueden implementarse a través de instrumentos económicos y de regulación (Colldeforns, 2009), destacándose la política fiscal ambiental. En este contexto, resulta importante identificar aquéllas políticas que podrían tener un mejor desempeño ante la gran variedad de escenarios climáticos futuros y su incertidumbre.

Metodología

La metodología seguida cualitativa a través de la revisión exhaustiva de la literatura y análisis bibliográfico. Algunos documentos consultados fueron: informes sobre la situación del medioambiente en México, estadísticas del agua en México, atlas del agua en México, programas hídricos regionales elaborados por el IMTA en conjunto con la ComisiónNacional del Agua (Conagua), así como también los programas estatales de cambio climático que algunos estados, han propuesto para mitigar los efectos de este fenómeno. Igualmente, fueron valiosos diversos documentos editados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), los cuales analizan el contexto de Latinoamérica y el Caribe en materia de políticas públicas, cambio climático y seguridad hídrica.

Discusión y resultados

Aspectos ambientales, económicos y sociales relevantes de la RHA XII Península de Yucatán

- Aspectos ambientales: En la región predominan los cenotes (ríos subterráneos), cuerpos de agua que se utilizan como fuentes de abastecimiento y sitios recreativos. La RHA se ubica en la franja tropical. Presenta un clima cálido con lluvias en verano de dos tipos: semiárido, en la zona costera del estado de Yucatán, y cálido, en el resto de la península, con variantes de secos hasta subhúmedos. La región cuenta con 35 áreas naturales.
- Aspectos económicos: El sector agrícola en esta región incluye una superficie sembrada y cosechada de 14,504.5 hectáreas, con dos distritos de riego; el rendimiento es de 48.48 t/ha y la producción de 703.23 miles de toneladas en el año agrícola 2015 (IMTA, 2016), con un valor de la cosecha por 662 millones de pesos (~33 millones de dólares de 2020). La contribución del PIB de todos los municipios de la región fue de 563.95 millones de pesos en 2008 (precios 2003; ~28 millones de dólares de 2020), equivalente al 6.6% del PIB nacional (Programa Hídrico Regional Península de Yucatán, 2012). Junto con la RHA Río Bravo es una de las más importantes del país.
- Aspectos sociales: La región cuenta con una población total de 4.687 millones de habitantes (2016), según datos de Estadísticas del Agua en México 2017. El 97.8% de los asentamientos humanos es rural, con poblaciones de menos o igual a 2,500 habitantes; la población urbana se concentra en el 2.2% de los asentamientos restantes. El Índice de Marginación (Conapo) muestra que ~80% de las localidades tiene “Muy alta marginación” y “Alta marginación”; 181 localidades con rezago social “Muy alto” (Coneval) y el 21% de la población total de la región es indígena.

Problemática relevante identificada

- La RHA XII es sensible a sufrir las consecuencias de los impactos climáticos debido a la influencia marítima, por lo que está sujeta a fenómenos hidrometeorológicos como nortes, ondas tropicales, ciclones y huracanes que pueden intensificarse en número, frecuencia e intensidad, ocasionando procesos de desertización.
- Se prevé un aumento de la temperatura media anual y de igual forma el número de días calurosos extremos.
- Respecto a la precipitación, se espera una disminución del volumen medio anual, más pronunciada en el norte.
- La población aún no se concientiza de la importancia y la oportunidad que ofrece el reuso de las aguas.
- En este contexto, los sectores que presentarían una mayor vulnerabilidad global a los impactos analizados serían: 1. El sector agua, presentando los niveles más elevados de vulnerabilidad a las variaciones de temperatura y precipitación. 2. La biodiversidad, con mayor grado de vulnerabilidad ligada a las variaciones de precipitación y eventos meteorológicos extremos. 3. Las zonas costeras, presentando los niveles más elevados de vulnerabilidad a las variaciones de temperatura y eventos meteorológicos extremos.

Analizando los programas para atender el tema del cambio climático en cada uno de los tres estados que conforman la RHA XII Península de Yucatán (Quintana Roo, Yucatán y Campeche) fue posible elaborar las matrices del impacto del cambio climático, a nivel global y local. En las Tablas 1 y 2 se presenta un resumen para toda la RHA.

Tabla 1. Matriz de efectos globales del cambio climático en la RHA XII Península de Yucatán (elaboración propia).

	Huracanes		**Incremento del nivel del mar**	**Frentes fríos**
Efectos globales	• Salinización de mantos acuíferos. • Inundaciones. • Afectaciones a la biodiversidad. • Desabasto de agua. • Marea de tormenta (inundaciones, erosión costera, afectaciones a infraestructura).	• Desbordamiento de ríos y cauces (afectaciones a infraestructura y asentamientos humanos). • Vientos intensos (daños a infraestructura, asentamientos humanos y biodiversidad). • Deslaves. • Incendios forestales.	• Afectación a la biodiversidad costera (arrecifes, humedales y duna costera). • Intrusión salina. • Erosión costera. • Olas de gran altura y mareas de tormenta. • Daños, migración de especies.	• Cambios bruscos de temperatura (enfermedades). • Vientos intensos (daños a infraestructura, asentamientos humanos y biodiversidad). • Marejadas por nortes.

Tabla 2. Matriz de efectos locales del cambio climático en la RHA XII Península de Yucatán (elaboración propia).

	Lluvias torrenciales	**Sequía**	**Suradas**	**Ondas de calor**
	• Desbordamiento de ríos (afectaciones a infraestructura y asentamientos humanos). • Inundaciones (cultivos). • Deslaves. • Afectaciones a la salud. • Desabasto de agua. • Afectaciones a la biodiversidad de especies. • Erosión y pérdida de suelos y cultivos. • Morbilidad de ganado. • Reducción de la productividad de cultivos. • Daños a infraestructuras de agua dulce y desagüe; desborde de aguas residuales sanitarias, fosas sépticas; contaminación de reservas de agua.	• Incendios forestales. • Afectaciones a la salud. • Erosión. • Afectaciones a la biodiversidad y ecosistemas terrestres y costeros. • Desabasto de agua (uso humano y riego). • Mayor incidencia de plagas, contaminación y reducción del manto freático. • Agotamiento de pastos naturales. • Contaminación de aguas subterráneas. • Riesgo de conflictos, incremento del costo de servicios. • Desaparición de cuerpos de agua perenes y temporales. • Pérdidas agrícolas.	• Vientos intensos (daños a infraestructura, asentamientos humanos y biodiversidad). • Incendios forestales. • Efectos en la salud (ocasionando enfermedades transmitidas por alimentos, agua y por vectores infecciosos y dispersión de alérgenos). • Interrupciones en infraestructuras costeras, viviendas, carreteras, electricidad, salud, inundaciones. • Especies invasoras.	• Incendios forestales. • Afectaciones a la salud (enfermedades gastrointestinales y choques de calor). • Afectaciones a sistemas de comunicación. • Desabasto de agua. • Merma de cosechas; menor rendimiento. • Afectaciones a la salud (enfermedades gastrointestinales por choques de calor, deshidratación). • Pérdida de rendimiento ganadero. • Desabasto de agua (por incremento en la demanda). • Mayor demanda de energía y agua.

En la Tabla 3 se presentan las políticas públicas sectoriales que se implementan en México. Para la mitigación, los sectores relevantes son: energía, transporte y forestal. Es claro que no todos los efectos locales están siendo atendidos, por ejemplo el tema de la gestión de las aguas pluviales, salud, infraestructura costera, entre otros.

Tabla 3. Políticas públicas que se aplican actualmente en México (elaboración propia con base en Caballero 2017).

	Sector	Política Nacional	Incentivos Fiscales	Otros
Adaptación y mitigación	**Energía**	Energía Renovable / Ley o programa	Impuestos a combustibles Subsidios para la eficiencia energética, Impuestos al CO_2	Mecanismos de desarrollo limpio Instrumentos de regulación: mandato de etanol
	Transporte	Infraestructura / Plan o estrategia Inspecciones vehículares / Plan o estrategia	Impuesto a los vehículos Impuesto a la gasolina	Financiamiento por Fondos Internacionales
	Forestal	Plan Nacional Forestal / Estrategia Regeneración /Plan o política Ordenamiento territorial /Plan o política Manejo Forestal /Plan o política	-	Financiamiento por Fondo Nacional
Adaptación	**Agrícola**	Plan Nacional de Acciones Climáticas /Estrategia Manejo de recursos e insumos / Plan o política Educación / Plan o política Tecnificación y tecnología / Plan o política Gestión de riesgos / Plan o política	-	Financiamiento por: Fondos Nacionales e Internacionales
	Biodiversidad	Cambio en el uso de suelo / Plan o política Sobre-Explotación de recursos naturales / Plan o política Conservación/ Plan o política	Impuestos sobre recursos naturales	Financiamiento por: Fondos Nacionales e Internacionales

Conclusiones

- Ante la problemática planteada anteriormente, es necesario iniciar trabajos de investigación para conocer con mayor precisión la sensibilidad y vulnerabilidad de los diferentes sistemas naturales, humanos y culturales de la región, afín de fortalecerlos mediante el diseño e implementación de políticas públicas con mejor desempeño para lograr una adaptación y mitigación que contribuyan a una mejor calidad de estos sistemas.
- Las políticas de adaptación y/o mitigación que se propongan e implementen en la RHA XII Península de Yucatán deberán abarcar al menos los siguientes sectores: hídrico; agrícola; forestal, biodiversidad y ecosistemas; infraestructura, tecnología y bioingeniería; educación y cultura; zonas costeras; salud.
- Se requiere mayor investigación para poder conocer detalles de los resultados de las políticas a nivel local.
- Las políticas públicas referidas al cambio climático deben contribuir al desarrollo sostenible. Ello implica, que dichas políticas sean evaluadas con base en sus contribuciones en lo económico, social y ambiental.
- Atender el desafío del cambio climático implica instrumentar políticas públicas sectoriales que conlleven a una modificación del actual estilo de desarrollo. Es necesario construir paquetes de política pública incluyendo incentivos económicos, reformas fiscales ambientales, regulaciones, nueva infraestructura y el impulso de tecnologías que conlleven a cambios estructurales del actual estilo de desarrollo. Deben evaluarse entonces y de forma simultánea, el conjunto de políticas públicas en el contexto del desarrollo sostenible.
- Atender el desafío del cambio climático, que es una externalidad negativa global, requiere la aplicación de diversas políticas públicas, como la normativa, la fiscal y la corrección y/o creación de nuevos mercados.
- Con una sola política pública no es posible aportar a la solución del cambio climático. Se requieren combinaciones que sean consistentes con el desarrollo sostenible.
- El tema de las descargas de aguas residuales debe atenderse con prioridad. Esta situación pone en riesgo la calidad del agua de los acuíferos, de los cuales la región se provee para el desarrollo de todas sus actividades económicas.
- La preservación del clima como bien público es uno de los grandes retos del siglo XXI.

Agradecimientos.
Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA por el apoyo que hizo posible asistir y participar en el 63 Congreso Internacional Acodal.

Referencias bibliográficas

Caballero, K. (2017). Políticas públicas sectoriales para el cambio climático en América Latina: una aproximación. CEPAL y Naciones Unidas.

Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del Agua en México. Edición 2017. Conagua/Semarnat, México.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval). Disponible en: http://coneval.org.mx/Paginas/principal.aspx

Consejo Nacional de Población (Conapo). Disponible en: https://www.gob.mx/conapo

Gobierno del Estado de Campeche (2015). Programa Estatal ante el Cambio Climático 2030. Disponible en: http://www.semarnatcam.campeche.gob.mx/wp-content/uploads/2016/03/PECC-Campeche_20150310.pdf

Gobierno del Estado de Quintana Roo (2013). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Quintana Roo (PEACCQROO). Disponible en: http://qroo.gob.mx/sites/default/files/2017-03/PROGRAMA%20ESTATAL%20DE%20ACCION%20ANTE%20EL%20CAMBIO%20CLIMATICO%20DEL%20ESTADO%20DE%20QUINTANA%20ROO.pdf

Gobierno del Estado de Yucatán (2014). Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Yucatán. Disponible en:

http://www.yucatan.gob.mx/docs/transparencia/general/indice_transparencia_disponibilidad/III_Marco_Programatico_Presupuestal/III_MPP_ProgramaEspdeAccinateelCambioClimtico20140426_1.pdf

Guido, P. (2019). Cambio climático: bases para la adaptación y mitigación en las Regiones Hidrológico-Administrativas de México. En proceso de edición. Editorial IMTA.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2016). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego, IMTA. http://www.edistritos.com/DR/estadisticaAgricola/organismo.php

Stern, N. (2008). The economics of climate change. American Economic Review, 98(2), Mayo.

ESTIMACIÓN DE FLUJOS DE AGUA VIRTUAL DEL SECTOR AGRÍCOLA EN COLOMBIA

Jesús Fernando Flórez Herrera[1] Andrea Carolina Guzmán Cabrera[2]

1. Línea Agua y Medio Ambiente en Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia
   Universidad Nacional de Colombia
2. Global Green Growht Institute
   Universidad de Antioquia

*Jesús Fernando Flórez Herrera: Línea Agua y Medio Ambiente, Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Carrera 46 No. 56-11 piso 15 Edificio Tecnoparque, Medellín-Antioquia, 050012, Colombia, Email: fflorez@cta.org.co

Abstract

The virtual water flow is an indicator that allows estimating the amount of water that leaves a country due to exports of goods to other countries and identifies the pressures of international trade on the national water resource.

Within the framework of the National Water Study 2018 (ENA 2018), specifically in the analysis of water uses in Colombia, the estimation of virtual water flows for the Colombian agricultural sector is developed. This estimate is achieved based on the water footprint indicator and the quantities of agricultural goods exported in a reference period.

In this specific case, the year 2016 was selected as the reference period and eight types of crops were prioritized for the estimation of virtual water flows in the agricultural sector. The prioritization of crops responds to criteria of water footprint value and level of exports, so the eight prioritized crops are: avocado, banana, cocoa, coffee, sugar cane, flowers and foliage, palm and platein.

It is possible to estimate a level of virtual water flows of 14355 million m^3 for 2016. The main crop through which water is expelled from the country is the cultivation of coffee, the largest amount of water reaches the United States, who is Colombia's main trading partner and the vast majority of virtual water flows come from the Magdalena-Cauca hydrographic area, an area in which productive activity is concentrated in Colombia.

Key words: Virtual water flows, water footprint, exports, crops.

ESTIMACIÓN DE FLUJOS DE AGUA VIRTUAL DEL SECTOR AGRÍCOLA EN COLOMBIA 2018

Resumen

El flujo de agua virtual es un indicador que permite estimar la cantidad de agua que sale de un país debido a las exportaciones de bienes a otros países y permite identificar las presiones del comercio internacional sobre el recurso hídrico nacional.

En el marco del Estudio Nacional del Agua 2018 (ENA 2018), específicamente en el análisis de usos del agua en Colombia se desarrolla la estimación de flujos de agua virtual para el sector agrícola colombiano. Esta estimación se logra a partir del indicador de huella hídrica y las cantidades de bienes agrícolas exportados en un periodo de referencia.

En este caso específico se seleccionó como periodo de referencia el año 2016 y se priorizaron ocho tipos de cultivo para la estimación de los flujos de agua virtual del sector agrícola. La priorización de cultivos responde a criterios de valor de huella hídrica y nivel de exportaciones, así los ocho cultivos priorizados son: aguacate, banano, cacao, café, caña de azúcar, flores y follajes, palma y plátano.

Se logra estimar un nivel de flujos de agua virtual de 14355 millones de m^3 para el año 2016. El principal cultivo por el cual se sale agua del país es el cultivo de café, la mayor cantidad de agua llega a los Estados Unidos, quien es el principal socio comercial de Colombia y en su gran mayoría los flujos de agua virtual provienen del área hidrográfica Magdalena-Cauca, área en la cual está concentrada la actividad productiva en Colombia.

Palabras clave: Flujos de agua virtual, huella hídrica, exportaciones, cultivos.

Introducción

El agua virtual es un concepto introducido en los años 90 para contabilizar el agua consumida por ejemplo, en todo el proceso de producción agrícola y agregársela al producto final como agua contenida en forma virtual en contraposición a indicadores tradicionales en los que el uso de agua no se ve reflejado en el producto final (Parada, 2012). De este modo el agua virtual permite hacer aproximaciones sobre el impacto que tiene la intervención antrópica, específicamente la producción y el comercio sobre el uso del recurso hídrico en un espacio geográfico determinado.

Del concepto de agua virtual se deriva el de “Huella hídrica” o “Huella de Agua”, indicador que contabiliza toda el agua virtual contenida en los productos de consumo de un individuo o grupo de consumidores, de una zona geográficamente delimitada, de una empresa, entre otros; contabilizando adicionalmente el agua necesaria para diluir la contaminación asociada al proceso productivo (Parada, 2012).

Los flujos de agua virtual hacen referencia entonces a los intercambios de agua que se dan entre países gracias al comercio internacional. Por medio del indicador de huella hídrica es posible entonces calcular el nivel de agua virtual que sale de un país por medio de los productos que exporta y como se distribuye esta agua entre los países importadores, lo que permite hacer un análisis de como el comercio puede favorecer la sostenibilidad del recurso hídrico especialmente en los países con menor oferta hídrica, en los cuales el costo de oportunidad de usar agua para la producción de determinados bienes es más grande que el costo de oportunidad de importar.

El indicador de huella hídrica y el concepto de agua virtual también permiten identificar qué países son más eficientes en la producción en función del consumo de agua, y además determinar si los países exportadores de agua son los más eficientes en el uso o los que cuentan con mayor oferta hídrica.

Así, la huella hídrica azul y la huella hídrica verde adquieren gran relevancia ya que permiten analizar el tipo de volumen de agua que se está exportando y por tanto, los impactos en términos ambientales y económicos de la producción de estos bienes en su país de origen (IDEAM, 2015).

El sector agrícola y pecuario es el gran usuario de agua a nivel mundial, razón por la cual cerca del 80% de los flujos de agua virtual están relacionados con el comercio de productos agrícolas (WWAP, 2017), por lo que los análisis de flujos de agua virtual se concentran en las exportaciones agrícolas de los países.

Colombia es uno de los países con mayor riqueza hídrica, su indicador de huella hídrica es en gran medida huella hídrica verde, gracias a un alto nivel de pluviosidad, esto permite inferir que el costo de producción asociado al uso del agua para la agricultura en Colombia es más bajo que en muchos otros países donde se debe establecer infraestructuras e implementar tecnologías para la captación de agua de fuentes superficiales y subtareas para el riego de cultivos, lo que le permite al país tener una ventaja competitiva en los mercados internacionales de alimentos, fundamental para el objetivo del Gobierno Nacional de convertir a Colombia en una gran despensa de alimentos a nivel mundial.

El indicador de huella hídrica y los flujos de agua virtual también permiten analizar hasta qué punto podría el país expandir la producción, especialmente la producción agrícola, para satisfacer la demanda internacional sin afectar los ecosistemas del país por la sobreexplotación del recurso hídrico lo que podría por ejemplo afectar el caudal ecológico de los cuerpos de agua.

Metodología

El objetivo de este análisis de flujo de agua virtual es hacer una aproximación a las salidas de agua del país por concepto de comercio internacional en el año 2016, identificando cuánta agua fue exportada, a que países llego y de que área hidrográfica salió.

Las exportaciones del país están compuestas por infinidad de bienes, pero como se mencionó, en términos de agua virtual el gran impacto está en el sector agrícola, razón por la cual este análisis se limita a los flujos de agua virtual de los ocho principales cultivos de exportación del país: Aguacate, Banano, Cacao, Café, Caña de azúcar, Flores y follajes, Palma de aceite y Plátano.

El análisis está dividido en 4 pasos

1. *Caracterización de las exportaciones del Colombia*

   Con información del DANE para el año 2016 se hace una estadística descriptiva de las exportaciones del país por sectores económicos: I) Agropecuario, II) Minería, III) Industrial, IV) Otros. Además, se presenta el índice de Competitividad Departamental como insumo para analizar que regiones del país tienen mayor potencial de generar valor agregado y potenciar sus exportaciones.

2. *Distribución de exportaciones de los ocho cultivos priorizados por lugar de origen y lugar de destino*

   Se toma información sobre exportaciones en toneladas de los ocho productos agrícolas priorizados para el año 2016 de la plataforma Trade Map[1]. Con esta información se hace la distribución producto por producto de las exportaciones a cada país de destino y se calculan las exportaciones totales.

   Igualmente se toma la información concertada sobre área sembrada para ENA 2018 y se hace la distribución de por Zona Hidrográfica de la producción y las exportaciones bajo el supuesto de que estas variables están distribuidas de la misma forma que el área sembrada.

[1] Trade Map fue desarrollada por el Centro de Comercio Internacional UNCTAD/OMC (CCI) con los objetivos explícitos de facilitar la investigación estratégica de mercado, monitoreando tanto el desempeño comercial nacional como el de productos específicos, dando a conocer la ventaja comparativa y competitiva, identificando el potencial para la diversificación de mercados o productos, y diseñando y clasificando por prioridades los programas de desarrollo comercial tanto para las compañías como para las instituciones de apoyo al comercio (UNCTAD, 2018).

3. *Estimación de HHA, HHV por tonelada para cada cultivo*

Conociendo la HHA y la HHV de cada cultivo para el año 2016, se divide este valor por el número de toneladas producidas en este año, para obtener un indicador de HHA y HHV por tonelada de producción de cada producto agrícola priorizado.

4. *Estimación de AVA, AVV para cada cultivo y distribución por lugar de origen y lugar de destino*

Conociendo el nivel de exportaciones y su distribución por lugar de destino y lugar de origen y estimando el indicador de HHA y HHV por tonelada de producción, es posible hacer el cálculo de flujo de agua virtual azul y verde para cada cultivo mediante la

Ecuación **1**, para cada cultivo, cada lugar de destino y cada área hidrográfica de origen

$$AVA_i = EXP_i * HHA_i$$
$$AVV_i = EXP_i * HHV_i$$
$$AVT_i = AVA_i + AVV_i$$

Ecuación 1. Estimación de agua virtual

Donde:
AVA: Flujo de Agua Virtual Azul
AVV: Flujo de Agua Virtual Verde
AVT: Flujo de Agua Virtual Total
HHA: Huella Hídrica Azul
HHV: Huella Hídrica Verde
i: Hace referencia al producto agrícola

Resultados

Para cada tipo de cultivo priorizado se estimó la cantidad de flujos de agua virtual generados en 2016, su distribución por países de destino de las exportaciones y su distribución por área hidrográfica de origen del cultivo. En este apartado se presentan de forma resumida los principales resultados obtenidos.

El flujo total de agua virtual en 2016 asociado a los 8 cultivos priorizados para el Estudio Nacional del Agua 2018 fue de 14355 millones de m^3 de agua, de estos el 95% corresponden a agua virtual verde y el 5% corresponden a agua virtual azul.

Los principales países a los cuales se dirigen los flujos de agua virtual de Colombia son Estados Unidos (30%), Países Bajos (10%), Alemania (8%) y Japón (6%). Por tipo de

cultivo, el café el principal exportador de agua colombiana (65%), seguido de la palma (16%) y la caña de azúcar (8%).

En cuanto al origen del agua virtual se tiene que el 74% del agua exportada del país en los 8 cultivos priorizados proviene del área hidrográfica Magdalena-Cauca en la cual está concentrada la actividad productiva del país.

A continuación, se presenta los resultados de la estimación de flujos de agua virtual por tipo de cultivo priorizado.

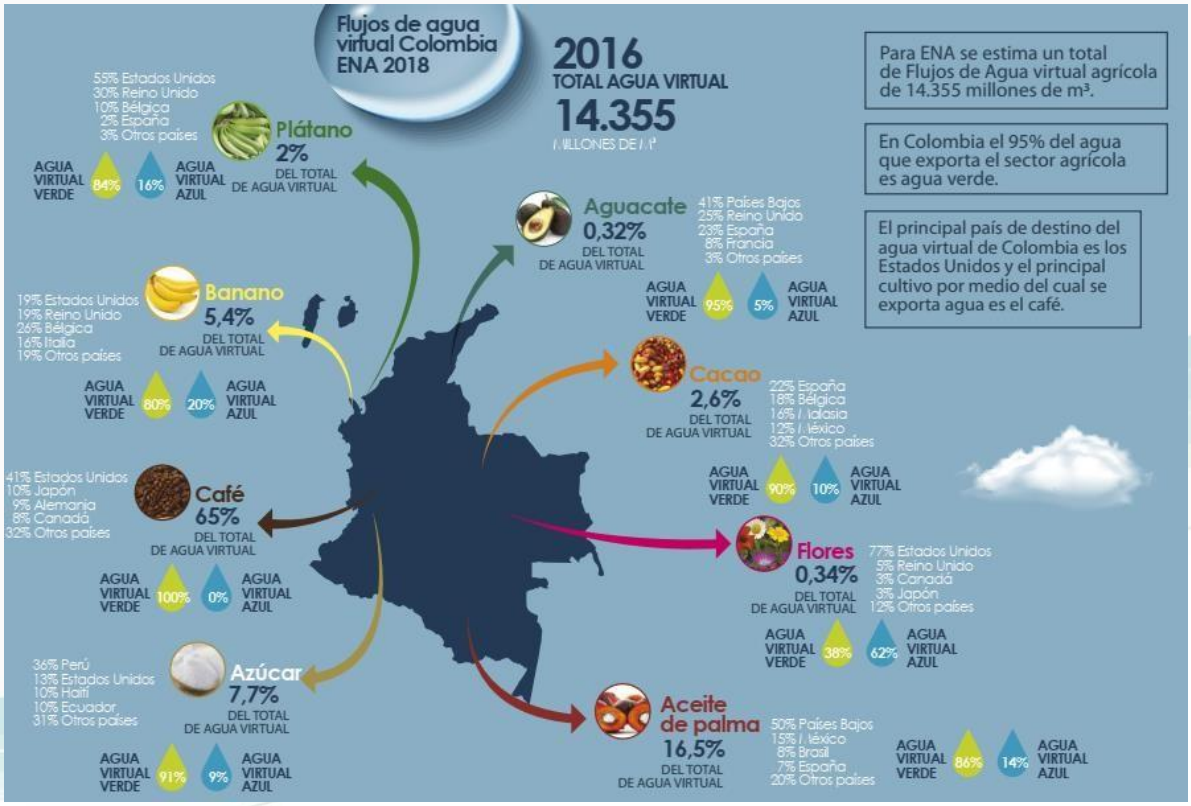


Figura 2. Flujos de agua virtual ENA 2018

Referencias Bibliográficas

IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua. In *Estudio Nacional del Agua 2014*.

Parada, G. (2012). El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Orinioquia*, 69–76.

UNCTAD. (2018). Acerca de Trade Map.

WWAP. (2017). Hechos y cifras.

EVALUACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD PARA CAUDALES DEL RÍO META, COLOMBIA

Marco Arrieta Castro[1*], Adriana Donado Rodríguez[1], Fausto A. Canales[1], Guillermo J. Acuña[2]

[1] Departamento de Civil y Ambiental, Programa de Ingeniería Civil, Universidad de la Costa
[2] Escuela de Ciencias Exactas e Ingeniería (ECEI), Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Sergio Arboleda
*Autor corresponsal: Universidad de la Costa, Calle 58 #55-66, Barranquilla, Atlántico. 080002. Colombia. Email: marrieta12@hotmail.com

Abstract

This paper assesses the probability distribution models that exhibit the best fit for three hydrological characteristics of the Meta River streamflow: annual maximum, annual minimum, and annual average. The six distribution models employed for this analysis are Normal, Log-normal, Gamma, Gamma 3-parameters, Weibull and Weibull 3-parameters distributions. The Meta River is one of the most important rivers of the Orinoco basin, and studies like this one contribute to a better understanding and planning of this water resource. Results show that Weibull 3-parameters and Gamma 3-parameters are the distributions that better fit most of the data.

KeyWords: Meta river, normal distribution, rating curve, statistical hydrology.

EVALUACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD PARA CAUDALES DEL RÍO META, COLOMBIA

Resumen

Este artículo evalúa los modelos de distribución de probabilidad que exhiben el mejor ajuste para tres características hidrológicas del río Meta: caudal máximo anual, caudal mínimo anual y caudal promedio anual. Los seis modelos de distribución empleados para este análisis son las distribuciones Normal, Log-normal, Gamma, Gamma 3 parámetros, Weibull y Weibull 3 parámetros. El río Meta es uno de los ríos más importantes de la cuenca del Orinoco, y estudios como este contribuyen a una mejor comprensión y planificación de este recurso hídrico. Los resultados muestran que los parámetros Weibull 3 parámetros y Gamma 3 parámetros son las distribuciones que mejor se ajustan a la mayoría de los datos.

Palabras clave:
Curvas de calibración, distribución normal, hidrología estadística, río Meta.

Introducción

Muchos de los procesos hidrológicos tales como la precipitación, caudal, evaporación, etc., son sucesos aleatorios, de los que no se puede conocer con certeza su evolución a lo largo del tiempo o espacio (Tucci, 2002). Para tratar dicha aleatoriedad, se toman datos pertenecientes a una serie temporal de procesos hidrológicos y se reúnen para formar una muestra y someterla a análisis estadístico y así definir la probabilidad de ciertos eventos. Estas dos herramientas son claves para la interpretación de procesos naturales (Reddy, 2005).

Este estudio toma como muestra la información de caudales y niveles históricos diarios disponibles de siete estaciones hidrológicas ubicadas a lo largo del río Meta. La recopilación de información cubre aproximadamente cuatro décadas, y se busca evaluar el comportamiento de tres características del caudal en el cauce principal del río: caudal promedio anual, caudales máximos anuales y caudales mínimos anuales. Es común que para este tipo de procesos hidrológicos se presenten vacíos en las series temporales, por lo cual se hace necesario aplicar métodos como la Curva de Calibración y Método de la estación más próxima, a veces también llamada curva HH o QQ, que a partir de ecuaciones que relacionan las distintas estaciones, aplican técnicas de regresión para completar los datos faltantes (Willis, 2011).

Esta investigación evalúa seis modelos teóricos de probabilidad para comparar cada uno de ellos con el proceso hidrológico que se desea estudiar, buscando encontrar el modelo que mejor se ajuste a las características y comportamiento del proceso natural. Este paso es de vital importancia, debido a que escoger una distribución incorrecta puede resultar en conclusiones equivocadas y en caso de que el modelo escogido no sea una buena representación del comportamiento de la población, se tendrá poca confiabilidad en las proyecciones que se hagan basadas en éste (Mitosek et al., 2006).

Una herramienta usada para medir las discrepancias entre la distribución de interés y el proceso natural, son las pruebas de ajuste de bondad, las cuales establecen dos hipótesis: la hipótesis nula que indica que la muestra proviene de la distribución, y la hipótesis alternativa que indica que no proviene de esta. Si las diferencias entre el modelo teórico y el empírico no son altas, permite hacer inferencias estadísticas a partir de la distribución escogida. Entre las pruebas de bondad aplicadas en el estudio se encuentran: Kolmogorov-Smirnov, Kolmogorov-Smirnov Modificada, Kuiper y Anderson-Dailing, que consisten en cuantificar la similaridad de las distribuciones con el modelo empírico considerando cierto nivel de significancia (Montgomery, 2017).

Esta investigación toma como estudio de caso al río Meta, este afluente es muy importante para la cuenca del Orinoco, posee un valor natural que lo ha convertido en la fuente de desarrollo y crecimiento económico para Colombia debido a que su cauce conecta

múltiples regiones con alto potencial productivo, por lo cual su navegabilidad y disponibilidad del recurso, son aspectos importantes que deben ser mejorados y están dentro de las políticas del país (Ministerio de Transporte, 2015).

El comportamiento de las distribuciones es un tema que debe ser estudiado de forma rigurosa, y conocer el comportamiento hidrológico del Río Meta permite a investigadores ser eficientes en el análisis e interpretación de datos y da paso a una mejora en la planificación territorial de los cuatro departamentos con los que limita, además de garantizar la seguridad y permitir mejorar la atención dirigida a la población que se beneficia de él en términos de pesca, agricultura, industria, recreación, etc. (Ardila Luna, 2016)

El propósito principal de la investigación es evaluar las series de caudal del Río Meta para encontrar el modelo teórico de probabilidad que represente el mejor ajuste al comportamiento de sus tres características antes mencionadas, facilitando su análisis e interpretación para mejorar la planeación territorial que afecta la calidad de vida de la población de los Llanos que dependen de este afluente.

Material y Metodología

Estudio de caso: Río Meta

El río Meta es un afluente de la cuenca del Orinoco que en su cuenca cobija a más de medio millón de personas, tiene su origen en la cordillera oriental de los Andes y su curso toma una dirección de este a oeste hasta alcanzar la frontera con Venezuela (Ardila Luna, 2016). Su longitud se aproxima a 1002 km y su cuenca contempla aproximadamente 99,500 km² (Acuña et al., 2019).

El Río Meta se considera un eje integrador de la región de los Llanos, comunica territorios con alto potencial productivo, promueve actividades relacionadas con la agricultura, pesca, industria, recreación, etc. Su navegabilidad es beneficiosa para las actividades de exportación que aseguran el crecimiento económico de la población (Ardila Luna, 2016).

Pre-Procesamiento de datos

Para estimar los valores faltantes de la serie de datos se aplicó en primera instancia el método de Curva de Calibración, que consiste en la aplicación de regresiones lineales que relacionan los valores de caudal (Q) y niveles de agua (H) de cada estación hidrológica, con el propósito de obtener una serie de tiempo continua (Willis, 2011). El Método de la estación más próxima es la alternativa implementada cuando no existen datos de nivel propios de la estación que permitan aplicar el método de Curva de Calibración. Este utiliza los datos de las estaciones próximas a la que presenta datos faltantes para hacer uso de la regresión lineal y completar la serie (Xia et al., 1999). En el estudio se comparan el coeficiente de determinación (R^2) de la estación anterior y posterior para escoger la

función con mejor índice de ajuste.

Modelos de distribución de probabilidad

En esta investigación se evalúan seis modelos de distribución de probabilidad a los caudales anuales máximos, mínimos y promedio de las estaciones del río Meta. Estas funciones de distribución fueron escogidas ya que son los que mejor se ajustan a los datos no censurados de caudales (StatPoint Inc, 2006). Los modelos fueron los siguientes: Normal, Lognormal, Gamma, Gamma 3 parámetros, Weibull, Weibull 3 parámetros.

Pruebas de bondad de ajuste a la distribución normal

- **Kolmogorov-Smirnov.** Se implementa para probar la similaridad de distribución entre los datos observados y sintetizados con un nivel de significancia del 95% (Zhu, Chen, & Chen, 2019).
- **Kolmogorov-Smirnov D Modificada.** Calcula la distancia máxima entre la función de distribución acumulada (CDF) empírica y el CDF ajustado (StatPoint Inc, 2006).
- **Kuiper V.** Calculado a partir de las estadísticas de Kolmogorov según se utiliza a menudo para las mediciones de los puntos que se distribuyen en un círculo (StatPoint Inc, 2006).
- **Anderson-Dailing A2.** Es una medida ponderada del área entre la CDF empírica. y la ajustada (StatPoint Inc, 2006).

Resultados y Discusión

Tabla 1. Características de las estaciones limnimétricas en el Río Meta.

No.	Código	Estación	Coordenadas	Periodo	Data[1] (%)
1	35017020	Puente Lleras	4° 06' 10.9", -72° 56' 11.0"	01/1977 - 10/2019	99.4
2	35107030	Cabuyaro	4° 16' 51.6", -72° 47' 35.9"	01/1977 - 10/2019	95.4
3	35117010	Humapo	4° 19' 40.0", -72° 23' 29.7"	04/1978 - 10/2019	98.7
4	35177020	Puerto Texas	4° 25' 06.2", -71° 57' 39.5"	04/1978 -10/2019	59.4
5	35267030	Santa María	5° 16' 15.0", -70° 42' 20.1"	02/1983 - 08/2019	82.5
6	35267080	Aguaverde	5° 47' 31.0", -69° 59' 16.4"	06/1983 - 08/2019	95.0
7	35257040	Aceitico	6° 11' 00.8", -68° 26' 29.3"	02/1983 - 08/2019	93.7

[1] *Porcentaje de datos disponibles para cada estación durante el periodo cubierto.*

En la serie de datos de caudales el 18% de ellos corresponde a datos faltantes, los cuales fueron estimados empleando los métodos de Curva de Calibración y Método de

la estación más próxima. La tabla 1 presenta en su última columna el porcentaje de datos de cada estación obtenidos a través del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM

Tabla 2. Ecuaciones y coeficientes de determinación para cada estación.

No.	Base (j)	Resultado (i)	Ecuación	R^2
1	Puente Lleras	Puente Lleras	$Q_i = 0.00001 * H_j^{2.7985}$	84%
	Cabuyaro		$Q_i = 0.4458 * Q_j + 39.058$	87%
	Cabuyaro		$H_i = 0.6786 * H_j + 190.72$	86%
2	Cabuyaro	Cabuyaro	$Q_i = 71.566 * e^{0.0055 * H_j}$	88%
	Humapo		$Q_i = 0.5379 * Q_j + 35.901$	90%
	Humapo		$H_i = 0.982 * H_j - 163.32$	92%
3	Humapo	Humapo	$Q_i = 0.000003 * H_j^{3.1273}$	98%
	Puerto Texas		$Q_i = 0.6506 * Q_j + 119.44$	93%
	Puerto Texas		$H_i = 0.7321 * H_j + 274.8$	92%
4	Puerto Texas	Puerto Texas	$Q_i = 280.46 * e^{0.0043 * H_j}$	96%
	Humapo		$Q_i = 1.4339 * Q_j + 119.44$	93%
	Humapo		$H_i = 1.2577 * H_j - 310.45$	91%
5	Santa María	Santa María	$Q_i = 0.0014 * H_j^{2.3289}$	99%
	Aguaverde		$Q_i = 0.7353 * Q_j + 271.45$	94%
	Aguaverde		$H_i = 0.8456 * H_j - 27.816$	92%
6	Aguaverde	Aguaverde	$Q_i = 0.0014 * H_j^{2.2859}$	99%
	Santa María		$Q_i = 1.2793 * Q_j - 117.57$	94%
	Aceitico		$H_i = 0.973 * H_j + 43.876$	93%
7	Aceitico	Aceitico	$Q_i = 0.0035 * H_j^{2.2113}$	98%
	Aguaverde		$Q_i = 1.3292 * Q_j + 255.3$	91%
	Aguaverde		$H_i = 0.9562 * H_j - 0.9304$	93%

La tabla 2 presenta para cada estación las correlaciones con mayor R2 que se aplicaron a cada alternativa y en base a que estación se hizo cada correlación. En total el 7% de los datos faltantes se estimaron usando el método de Curva de Calibración y el 11% correspondió al Método de la estación más próxima. Para completar la serie se toman tres alternativas como solución y su aplicación se desarrolla en el orden que se menciona a continuación: la primera es el método de Curva de Calibración, la segunda utiliza datos de caudal de la estación próxima con mayor R2 para completar datos de caudal de la estación con vacíos (QQ), y la tercera se basa en niveles de la estación próxima para completar datos de nivel faltantes y así poder aplicar HQ.

Tabla 3. Modelos de probabilidad para caudales anuales máximos del Río Meta.

No	Estación	DMA	Promedio	Desvío Estándar	Log Verosimilitud	¿Se ajusta a Distribución Normal?
1	Puente Lleras	Log-Normal	1045.17	183.12	-285.099	NO
2	Cabuyaro	Weibull 3	2302.14	282.21	-302.507	NO
3	Humapo	Weibull 3	3775.12	460.54	-316.273	SÍ
4	Puerto Texas	Weibull 3	5319.87	634.32	-313.996	SÍ
5	Santa María	Gamma 3	7179.08	1192.57	-309.592	NO
6	Aguaverde	Gamma 3	8751.72	1221.89	-314.515	SÍ
7	Aceitico	Weibull 3	12110.97	2095.10	-333.476	SÍ

DMA: Distribución de mejor ajuste.

La tabla 3 presenta una columna con el índice estadístico de Log verosimilitud usado para comparar ajustes (MINITAB, 2020), aplicado a los datos de caudales anuales máximos provenientes de las series temporales. Entre mayor sea este índice, mejor es el ajuste. Los resultados demuestran que Weibull 3 parámetros es la distribución de mejor ajuste para la mayoría de las estaciones, seguido de Gamma 3 parámetros y Log-Normal. De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 3, sólo cuatro estaciones se ajustan a la distribución normal, ya que se consideró que si se fallaba en alguna de las pruebas de bondad de ajuste previamente mencionadas, la distribución normal no sería una opción adecuada.

Tabla 4. Modelos de probabilidad para caudales anuales mínimos del Río Meta.

No	Estación	DMA	Promedio	Desvío Estándar	Log Verosimilitud	¿Se ajusta a Distribución Normal?
1	Puente Lleras	Weibull 3	60.64	31.37	-204.421	SI
2	Cabuyaro	Weibull 3	123.36	55.43	-229.165	SÍ
3	Humapo	Weibull 3	240.98	81.80	-242.638	SÍ
4	Puerto Texas	Gamma 3	338.79	136.06	-245.781	NO
5	Santa María	Weibull 3	300.14	220.19	-245.604	NO
6	Aguaverde	Weibull 3	448.50	188.71	-244.343	SÍ
7	Aceitico	Weibull 3	696.61	235.29	-254.292	SÍ

DMA: Distribución de mejor ajuste.

Según la tabla 4 para caudales mínimos, la Log verosimilitud indica dos modelos como mejor ajuste: Weibull 3 parámetros (seis estaciones) y Gamma 3 parámetros (sólo Puerto Texas). Todas las series de datos se ajustan a la distribución normal con un 95% de confianza según las pruebas de normalidad, excepto por Puerto Texas y Santa María (estaciones adyacentes).

Tabla 5. Modelos de probabilidad para caudales anuales promedios del Río Meta.

No	Estación	DMA	Promedio	Desvío Estándar	Log Verosimilitud	¿Se ajusta a Distribución Normal?
1	Puente Lleras	Gamma 3	420.29	56.13	-234.834	SI
2	Cabuyaro	Weibull 3	878.10	104.48	-259.128	SÍ
3	Humapo	Weibull 3	1577.34	192.44	-279.973	SÍ
4	Puerto Texas	Gamma 3	2233.33	232.82	-274.831	SÍ
5	Santa María	Weibull 3	2957.31	381.09	-270.768	SÍ
6	Aguaverde	Weibull 3	3575.25	631.92	-290.037	SÍ
7	Aceitico	Gamma 3	5082.11	709.45	-293.707	SÍ

DMA: Distribución de mejor ajuste.

En la tabla 5, al evaluar caudales anuales promedio del río Meta, nuevamente se presentan Weibull 3 parámetros y Gamma 3 parámetros como las distribuciones de mejor ajuste de acuerdo con el índice de Log Verosimilitud. También se observa que los datos de caudal promedio de todas las estaciones se ajustan a la distribución normal con un 95% de confianza, según las pruebas de bondad aplicadas.

Conclusiones

De los cinco modelos de distribución de probabilidad sólo tres fueron constantes en resultar como el mejor ajuste de los datos anuales analizados: Log-Normal, Weibull 3 parámetros y Gamma 3 parámetros, el modelo con mayor distribución de datos fue Weibull 3 parámetros con un 67% de datos ajustados, un 26% correspondió a Gamma 3 parámetros y solo el 5% de los datos se ajustó al modelo de distribución de Log-Normal.

De las siete estaciones evaluadas en sus tres características, todas presentan mínimo dos ajustes de normalidad en los tres casos posibles, excepto por Humapo y Aceitico, cuyos caudales se ajustan a la distribución normal. Todas las estaciones al aplicar las cuatro pruebas de bondad de ajuste de normalidad al caudal anual promedio se ajustaron a la distribución normal.

Para Cabuyaro y Humapo, Weibull 3 parámetros es el modelo de mejor ajuste para caudal máximo, mínimo y promedio. Son las únicas estaciones con el mismo modelo en las tres características evaluadas, y al presentar un comportamiento similar se puede inferir que se debe al hecho de que son estaciones adyacentes.

Para finalizar, se debe mencionar que este tipo de estudios de hidrología estadística deben ser reevaluados periódicamente, pues el comportamiento de las series temporales corresponde a procesos dinámicos que pueden modificarse por causas antrópicas o naturales.

Referencias bibliográficas

Acuña, G.J., Ávila, H. and Canales, F.A. (2019). River Model Calibration Based on Design of Experiments Theory. A Case Study: Meta River, Colombia. Water, 11(7), 1382. doi:10.3390/w11071382

Ardila Luna, D.C. (2016). El río Meta y los proyectos para la integración de los Llanos Orientales colombianos, desde la Colonia hasta el siglo XXI. Anuario de Historia Regional y de las Fronteras, 21(2), 265–283. doi.org:10.18273/revanu.v21n2- 2016011

Ministerio de Transporte (2015). Plan Maestro Fluvial de Colombia 2015. Bogotá D.C.

MINITAB, LLC. (2020). What is log-likelihood?. Acceso en 09 de enero de 2020, disponible en: https://support.minitab.com/es- mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/supporting-topics/regression-models/what-is-log-likelihood/

Mitosek, H.T., Strupczewski, W.G., and Singh, V.P. (2006). Three procedures for selection of annual flood peak distribution. Journal of Hydrology, 323(1–4), 57–73. doi.org:10.1016/j.jhydrol.2005.08.016

Montgomery, D.C. (2017) Design and Analysis of Experiments, 9a ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 743 pp.

Reddy, P.J.R. (2005). A Text Book of Hydrology, Laxmi Publications, New Delhi, 530 pp.

StatPoint Inc. (2006). Ajustando distribuciones de datos no censurados. In: STATGRAPHICS Centurion XVI Manual de usuario. Tucci, C.E.M. (2002). Regionalização de Vazões, Editora da Universidade, Porto Alegre, RS, 256 pp.

Willis, I.C. (2011). Rating Curve. In: Singh V.P., Singh P., Haritashya U.K. (Eds.) Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers, Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-90-481-2642-2_435

Xia, Y., Fabian, P., Stohl, A. and Winterhalter, M. (1999). Forest climatology: estimation of missing values for Bavaria, Germany. Agricultural and Forest Meteorology, 96(1–3), 131–144. doi:10.1016/S0168-1923(99)00056-8

Zhu, B., Chen, J., and Chen, H. (2019). Performance of multiple probability distributions in generating daily precipitation for the Simulation of hydrological extremes. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 33(8–9), 1581–1592. doi:10.1007/s00477-019-01720-z

EVALUACIÓN DE LIMPIEZA QUÍMICA Y CON ULTRASONIDO EN DIFUSORES DE BURBUJA FINA USADOS EN PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

Julieth Suarez-Angarita[1]; Diego Sebastián Díaz[1]; Leonardo Guzmán-Olaya[2]; Laura Cortés-Rico[3]; Alis Pataquiva-Mateus[4]; Diego Rosso[5]; Andrés Baquero[1*].

[1] Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.

[2] Doctorado en Ciencias Aplicadas, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.

[3] Programa de Ingeniería en Multimedia, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.

[4] Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Colombia.

[5] Water Energy Nexus Center, Universidad de California, Irvine. Estados Unidos.

* Universidad Militar Nueva Granada. Km 2 Cajicá- Zipaquirá. Colombia. Email: gustavo.baquero@unimilitar.edu.co

Abstract

In this study, the effect of three different fouling cleaning methods on fine bubble diffuser membranes was studied on a pilot-scale. The evaluated techniques were based on: i) alkaline chemical solution (15% and 30% sodium hydroxide solution), ii) oxidative chemical solution (15% and 30% hydrogen peroxide solution), and iii) ultrasound (40 Hz). For this, a test bench assembly was built for the oxygen transfer evaluation, where small fine bubble membrane diffuser (1:33, in comparison to the commercial ones) were studied in real process conditions, before and after the fouling cleaning method of each diffuser. In addition, the oxygen transfer efficiency in clean water was assessed, and the discharge pressure was monitored. Even though, the results showed that the three techniques had an adequate performance on the improvement of oxygen transfer and discharge pressure: Taking as reference the oxygen transfer rate, alkaline chemical cleaning method showed be more efficient two-fold over the other two methods.

Keywords: Activated sludge, Chemical cleaning, Fine-pore diffuser fouling, Oxygen transfer efficiency, Ultrasound.

EVALUACIÓN DE LIMPIEZA QUÍMICA Y CON ULTRASONIDO EN DIFUSORES DE BURBUJA FINA USADOS EN PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

Resumen

En los procesos de lodos activados la aireación demanda entre el 50-70% de los costos de la energía necesaria para la operación de la planta de tratamiento de agua residual. El ensuciamiento de las membranas difusoras de burbuja fina, debido a la acumulación de sustancias suspendidas o disueltas sobre su superficie y/o dentro de sus poros, tiene como consecuencia la pérdida en la eficiencia de la transferencia de oxígeno y en consecuencia el incremento de los costos de operación, asociados a los sopladores del sistema de aireación. La presente investigación busca evaluar a escala piloto, técnicas para la limpieza de difusores de burbuja fina empleados en la aireación de lodos activados para el tratamiento de agua residual. Las técnicas evaluadas son: i) Limpieza química con solución de naturaleza alcalina (hidróxido de sodio 15 y 30%), ii) Limpieza química con solución química oxidativa (peróxido de hidrógeno 15 y 30%) y iii) Limpieza química con Ultrasonido (40 KHz). En las pruebas fueron empleados difusores de burbuja fina, usados por aproximadamente 3 años en condiciones reales de proceso para el tratamiento de agua residual municipal. Antes y después de la limpieza de cada difusor se evaluó la eficiencia de transferencia de oxígeno en agua limpia, así mismo la presión de descarga fue monitoreada. Tomando como referencia la tasa de transferencia de oxígeno, el método de limpieza química alcalina resultó ser hasta dos veces más eficiente que los otros dos métodos.

Palabras clave: Eficiencia de transferencia de oxígeno, Ensuciamiento de difusores, Limpieza química, Lodos activados, Ultrasonido.

Introducción

La aireación es un proceso fundamental en el tratamiento de aguas residuales, tiene como propósito suministrar el oxígeno requerido por los microorganismos metabolizadores, adicionalmente, proporciona la mezcla para que dichos organismos entren en contacto con la materia orgánica disuelta y suspendida (EE.UU. EPA, 1999; Manahan, 2007). En el tratamiento de aguas residuales la trasferencia de oxígeno al agua se ve afectada por diferentes factores, uno de los más relevantes resulta ser el ensuciamiento que recubre la membrana de los difusores de burbuja fina (Baquero-Rodríguez et al., 2018).

Dicha membrana es un elemento con orificios (típicamente 0-3 mm[2]) que bajo determinada presión permite el flujo y formación de burbujas (por ejemplo, aire u oxígeno) dentro del líquido (Hendricks, 2011). En la industria del tratamiento de aguas residuales son usadas diferentes técnicas de limpieza para mitigar el ensuciamiento, dentro de las técnicas usadas se encuentran la limpieza con químicos, limpieza mecánica y el denominado *bumping* o golpe de aire consiste en aumentar temporalmente el flujo de aire (EE.UU. EPA, 1999).

Ensuciamiento de las membranas de burbuja fina: El ensuciamiento que ocurre sobre las membranas está asociado a la disminución del rendimiento dé la misma, debido a la acumulación de sustancias suspendidas o disueltas sobre su superficie externa y/o dentro de sus poros, afectando la eficiencia de transferencia de oxígeno (Garrido-Baserba et al., 2018; Koros et al., 1996). El ensuciamiento puede ser clasificado según sus características, los principales aportes al ensuciamiento son de carácter orgánico (relacionado con el crecimiento microbiano) e inorgánico (relacionado con la formación de compuestos inorgánicos obstructores, o incrustación de carbonatos, sulfatos, sílice, entre otros). El aporte exacto de cada uno de estos contribuyentes aún no está clara (Garrido-Baserbaet al., 2018). A partir de la revisión de la literatura adelantada no se ha identificado la relación entre el nivel de afectación por el ensuciamiento de los difusores de burbuja fina yel tiempo en operación.

Limpieza en membranas de burbuja fina: El objetivo de la limpieza de las membranas es recuperar la eficiencia de la transferencia de oxígeno por medio del uso de tratamientos físicos, químicos o combinación de ambos. La experiencia muestra que es difícil recuperar la eficiencia de la membrana al 100% de la condición inicial (Al-Amoudi & Lovitt, 2007). Actualmente, la limpieza de membranas se ha convertido en un área de investigación, aunque la bibliografía dedicada a los métodos de limpieza es menor que al de losfenómenos de ensuciamiento. La vida útil de las membranas y su resistencia química estáasociada al ensuciamiento producido en el tratamiento de agua residual. A pesar del desarrollo de membranas anti ensuciamiento y las mejoras de las estrategias de control, elensuciamiento es algo inevitable y una de las pocas soluciones es la limpieza (Ang et al., 2011; Goosen et al., 2005). Es común emplear tratamientos físicos para la limpieza de membranas de burbuja fina, aunque la técnica más extendida es el tratamiento químico (Al-Amoudi & Lovitt, 2007; EE.UU. EPA, 1999). A continuación, se presentan referencias a la limpieza química y limpieza con ultrasonido, técnicas consideradas en la presente investigación.

Limpieza química: Se enfoca en el ensuciamiento que tiene una fuerte adhesión a los poros (incrustaciones irreversibles) y a la superficie de la membrana, hace uso de varios productos químicos como bases, ácidos y oxidantes (De Souza & Basu, 2013; Kabsch-Korbutowicz et al., 2006). Cuando se identifica la causa del ensuciamiento, se puede hacer uso de varios productos químicos de limpieza para eliminar los materiales incrustados en la membrana y restaurar el flujo a través de ella (Liu et al., 2001).

[2] Según mediciones realizadas a usando microscopía electrónica, en difusores de burbuja fina nuevos, el tamaño del poro se encuentra entre 653 y 794 µm.

Limpieza con ultrasonido: La limpieza con ultrasonido aplicada a los difusores de burbuja fina de los procesos de lodos activados resulta ser un procedimiento novedoso, lo anterior, debido a que el ultrasonido es comúnmente empleado en limpieza de membranas para procesos de filtración, específicamente membranas de ultrafiltración y micro filtración (H. Kyllönen et al., 2006; Li et al., 2002). El ultrasonido puede romper las incrustaciones en la superficie de la membrana (H. M. Kyllönen et al., 2005).

Teniendo en cuenta el impacto que el ensuciamiento de los difusores de burbuja fina tiene en la eficiencia de la trasferencia de oxígeno, así como en los costos de operación de los procesos de lodos activados, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar a escala piloto técnicas para la limpieza de membranas difusoras de burbuja fina. Se evalúa una técnica convencional (adición de agentes químicos - NaOH y H_2O_2 - en la red de aire) y una técnica novedosa en la limpieza de difusores (exposición a ultrasonido).

Materiales y métodos

La experimentación adelantada incluye diferentes actividades: i) Configuración del banco de pruebas para evaluación de trasferencia de oxígeno, ii) Selección y definición de las metodologías para la limpieza de membranas, iii) Evaluación de la transferencia de oxígeno en agua limpia (antes y después de la limpieza de las membranas). A continuación, se presentan detalles de los principales componentes y de las pruebas adelantadas:

Banco de pruebas: Para la evaluación de la transferencia de oxígeno se usó el banco de pruebas descrito en la Figura 1. La configuración seleccionada representa un reactor aeróbico y sus componentes a escala piloto.

Difusores de burbuja fina: En las pruebas fueron empleados difusores de burbuja fina a escala 1:33, construidos a partir de materiales comerciales, así como de membranas retiradas de difusores de burbuja fina usados, procedentes de plantas de tratamiento de aguas residual.

Sistema de control: El sistema de control permite adelantar repeticiones de las pruebas de transferencia de oxígeno en cada uno de los cuatro difusores, de manera independiente. Adicionalmente permite adelantar la adición de químicos para remoción de oxígeno, regular el caudal de aire y registrar los datos de las variables del proceso. El controlador está acoplado a software desarrollado para esta aplicación.

Evaluación de la transferencia de oxígeno: La evaluación de la transferencia de oxígeno y el procesamiento de los datos se adelantaron siguiendo la Norma ASCE / EWRI 2006-2 (American Society of Civil Engineers, 2007). Las pruebas se adelantaron a un caudal de aire:3.37 L/min. La tasa de trasferencia de oxígeno en condiciones estándar (SOTR) así como el diferencial de presión (DWP) han sido definidas como las variables de estudio. Antes y después de la limpieza de cada membrana se evaluó la transferencia de oxígeno en agua limpia. Las pruebas fueron adelantadas por triplicado, en las condiciones

ambientales locales de Cajicá, Colombia (Presión Atmosférica: 0.75 Atm, 2550 msnm, Temperatura: 17 ^{o}C).

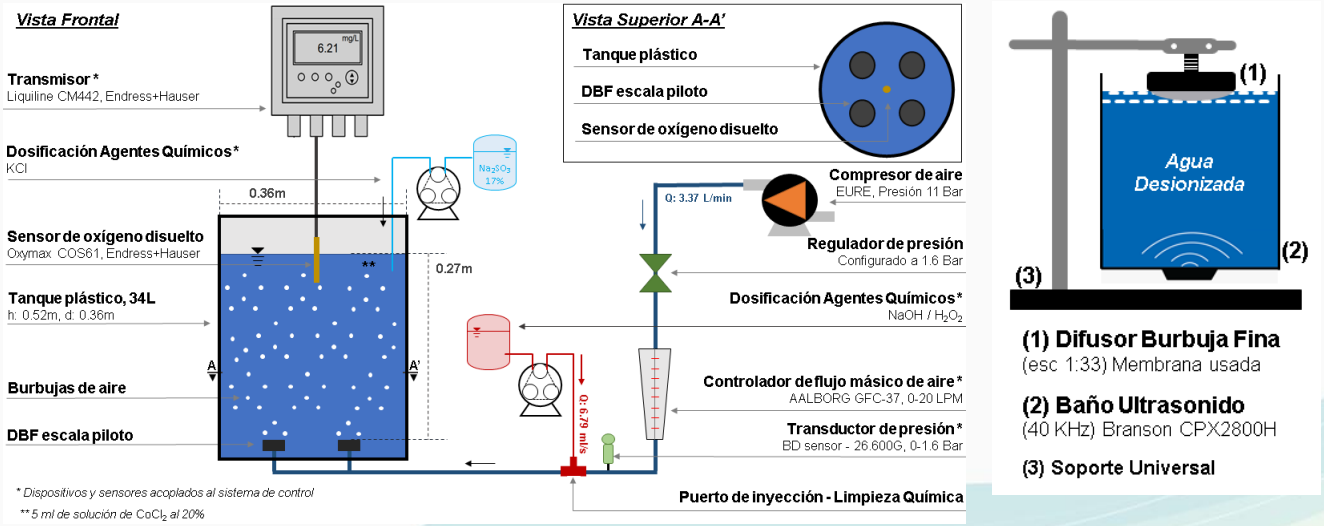


Figura 1. Esquema del banco de pruebas a escala piloto (Izquierda)

Figura 2. Montaje - Limpieza con ultrasonido (Derecha)

Limpieza con Ultrasonido: Se usó el montaje descrito en la Figura No 2, se evaluaron 3 tiempos de limpieza (10, 15 y 30 minutos). Los difusores de burbuja fina fueron suspendidos de manera invertida dentro del agua, lo anterior buscando que el generador de ondas estuviera perpendicular a la superficie de la membrana. El agua del baño de ultrasonido fue cambiada en cada limpieza.

Limpieza con agentes químicos: La dosificación de las soluciones de limpieza seadelanta en el banco de pruebas (Figura 1). Los agentes químicos usados en la limpieza son peróxido de hidrógeno (H_2O_2) e hidróxido de sodio (NaOH), en cada caso evaluando dos concentraciones (15% y 30%) y dos tiempos de contacto (3 min y 5 min). Finalizada la aplicación del agente químico se inyectó agua en la red de aire y el agua del tanque fue reemplazada.

Resultados y discusión

En todos los casos las técnicas de limpieza evaluadas tuvieron impacto positivo sobre la SOTR (g O_2/h). El mejor rendimiento se ha obtenido en la limpieza con NaOH (mediana de todas las pruebas: 20.0%), esta resulta ser el doble de eficiente comparado con la limpieza

con Ultrasonido (Mediana de todas las pruebas: 8.1%) (Figura No. 3). Desde el punto de vista del DWP, el H_2O_2 muestra el mejor comportamiento (mediana de todas las pruebas:16.2%), nuevamente la limpieza con ultrasonido resulta tener el rendimiento más bajo (mediana de todas las pruebas: 7.5%) (Figura No. 4). Finalmente, los resultados obtenidos son similares para ambos agentes químicos utilizados (NaOH y H_2O_2, la evaluación de alternativas deberá considerar los costos asociados a su implementación, así como los beneficios económicos que cada uno represente en el tratamiento del agua residual.

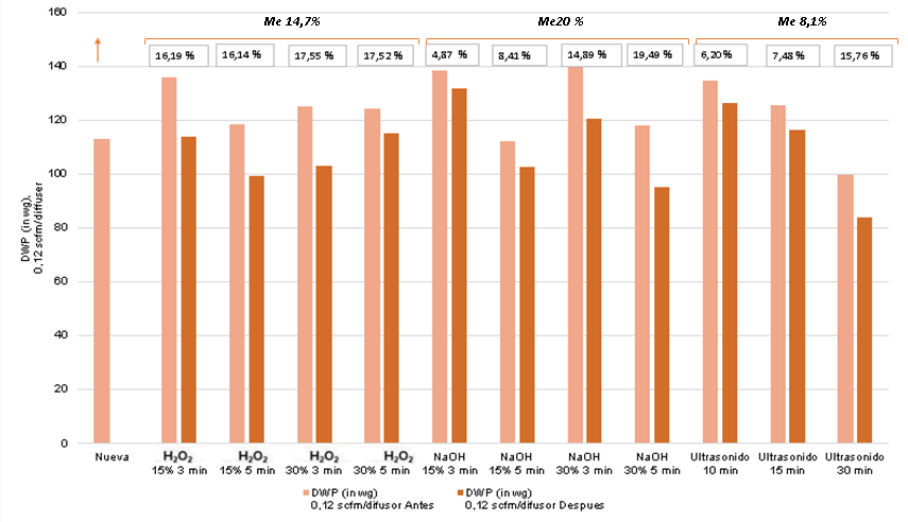


Figura 3. DWP a 0.12 scfm/difusor en cada limpieza

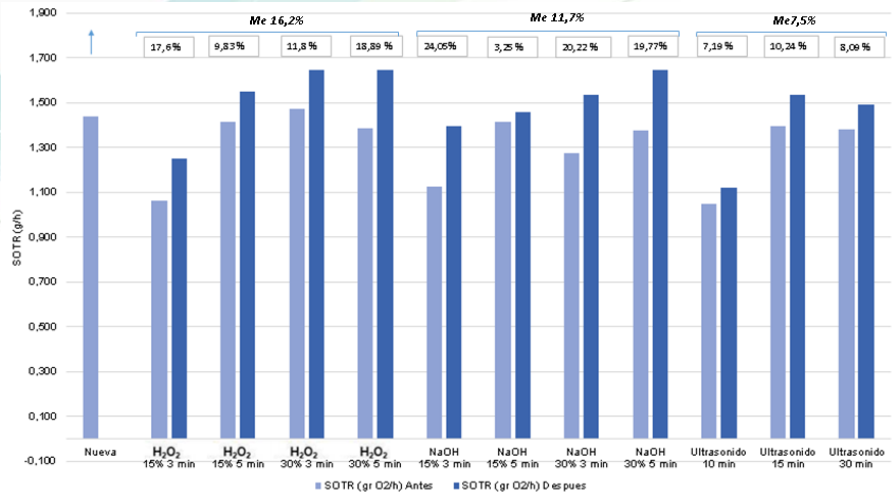


Figura 4. SOTR (tasa de transferencia de oxígeno específica) Kg O_2/h en cada limpieza

La limpieza de los difusores tiene un impacto positivo en la eficiencia de la transferencia de oxígeno (SOTR), así como en la presión de descarga del sistema de aireación (DWP). La demanda de oxígeno y la presión de descarga son condiciones de entrada claves en el diseño del sistema de aireación, en todo caso, vale la pena resaltar que la transferencia de oxígeno impacta de forma significativa, durante toda la vida útil de la planta, los costos del tratamiento del agua residual.

Conclusiones

Los resultados obtenidos, a partir de la evaluación de diferentes técnicas de limpieza de difusores de burbuja fina, muestran que la limpieza química resulta ser una buena alternativa, recuperando hasta del 17.5% de la eficiencia de la trasferencia de oxígeno. Estos resultados son cruciales con respecto a la conservación de energía aplicada a la operación de tratamiento de aguas residuales e instalaciones de recuperación de recursos del agua.

El diseño del experimento estuvo limitado por la disponibilidad de difusores de burbuja fina usados, lo anterior impacta en la posibilidad de adelantar análisis detallados sobre el efecto que tiene la concentración del agente químico empleado o el tiempo de contacto durante la limpieza. El trabajo futuro debe estar orientado a la evaluación dinámica de los fenómenos de ensuciamiento y su relación con la frecuencia de la limpieza. Dichos análisis deben incluir la relación entre los costos asociados a la limpieza y los beneficios por su implementación.

Agradecimientos: Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva granada (IMP-ING-2930). 2018

Referencias bibliográficas

Al-Amoudi, A., & Lovitt, R. W. (2007). Fouling strategies and the cleaning system of NF membranes and factors affecting cleaning efficiency. *Journal of Membrane Science*, *303*(1-2), 4-28. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.06.002

Ang, W. S., Tiraferri, A., Chen, K. L., & Elimelech, M. (2011). Fouling and cleaning of RO membranes fouled by mixtures of organic foulants simulating wastewater effluent. *Journal of Membrane Science*, *376*(1-2), 196-206.

Baquero-Rodríguez, G. A., Lara-Borrero, J. A., Nolasco, D., & Rosso, D. (2018). A Critical Review of the Factors Affecting Modeling Oxygen Transfer by Fine-Pore Diffusers in Activated Sludge. *Water Environment Research*, *90*(5), 431-441. https://doi.org/10.2175/106143017X15131012152988

De Souza, Nigel. P., & Basu, O. D. (2013). Comparative analysis of physical cleaning operations for fouling control of hollow fiber membranes in drinking water

treatment. *Journal of Membrane Science*, *436*, 28-35. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.02.014

EE.UU. EPA. (1999). *Wasterwater Technology Fact Sheet—Fine—Bubble Aeration*. Environmental Protection Agency.

Garrido-Baserba, M., Asvapathanagul, P., Park, H.-D., Kim, T.-S., Baquero-Rodriguez, G. A., Olson, B. H., & Rosso, D. (2018). Impact of fouling on the decline of aeration efficiency under different operational conditions at WRRFs. *Science of The Total Environment*, *639*, 248-257. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.036

Goosen, M. F. A., Sablani, S. S., Al-Hinai, H., Al-Obeidani, S., Al-Belushi, R., & Jackson, D. (2005). Fouling of Reverse Osmosis and Ultrafiltration Membranes: A Critical Review. *Separation Science and Technology*, *39*(10), 2261-2297. https://doi.org/10.1081/SS-120039343

Hendricks, D. (2011). *Fundamentals of Water Treatment Unit Processes—Physical, Chemical, and Biological*.

Kabsch-Korbutowicz, M., Biłyk, A., & Mołczan, M. (2006). *The Effect of Feed Water Pretreatment*. 7.

Koros, W. J., Ma, Y. H., & Shimidzu, T. (1996). Terminology for membranes and membrane processes (IUPAC Recommendations 1996). *Pure and Applied Chemistry*, *68*(7), 1479-1489. https://doi.org/10.1351/pac199668071479

Kyllönen, H. M., Pirkonen, P., & Nyström, M. (2005). Membrane filtration enhanced by ultrasound: A review. *Desalination*, *181*(1-3), 319-335. https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.06.003

Kyllönen, H., Pirkonen, P., Nyström, M., Nuortila-Jokinen, J., & Grönroos, A. (2006). Experimental aspects of ultrasonically enhanced cross-flow membrane filtration of industrial wastewater. *Ultrasonics Sonochemistry*, *13*(4), 295-302. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2005.04.006

Li, J., Sanderson, R. D., & Jacobs, E. P. (2002). Ultrasonic cleaning of nylon microfiltration membranes fouled by Kraft paper mill effluent. *Journal of Membrane Science*, *205*(1), 247-257. https://doi.org/10.1016/S0376-7388(02)00121-7

Liu, C. Y., Caothien, S., Hayes, J., Caothuy, T., & Otoyo, T. (2001). *Membrane Chemical Cleaning: From Art to Science*.

Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Reverte.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LA CORTEZA DE NARANJA (CITRUS SINENSIS), BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (SACCHARUM OFFICINARUM) Y BORRA DE CAFÉ (COFFEA ARABICA) PARA LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL BRILLANTE FCF.

Evaluation of the absorption capacity if the orange(citrus sinensis), sugarcane bagasse(saccharum officinarum) and coffe grounds(coffea arabica) for the removal of the bright blue dye “fcf”.

Guerra Rodríguez,Jayerth[1], Torres Galindo Anyel Liseth[2] y Vanegas López Geraldine Jasbleidy[3]
[1]Semillero de Investigación BIOTEC AMBIENTAL, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia.

**Autor corresponsal:* Carrera 5 Este No. 15-82, Proyecto Curricular de Tecnología en Saneamiento Ambiental. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. Email: jguerrar@udistrital.edu.co

[1] Docente planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Licenciado en Química y Biología –Área mayor Química (Universidad de Nariño-Pasto-Colombia), Magister en Tecnología Química (Universidad Ramón Llull -Barcelona - España) y Especialista en Biotecnología de Alimentos (Universidad Politécnica de Cataluña. -Barcelona – España). Bogotá-Colombia. jguerrar@udistrital.edu.co

[2]Torres Galindo Anyel Liseth. Tecnóloga en Saneamiento Ambiental e Ingeniera Sanitaria (Universidad Distrital). Lunebelle@89gmail.com y [3]Vanegas López Geraldine Jasbleidy. Ingeniera Sanitaria (Universidad Distrital). Jas952@hotmail.com

Abstract

The food and cosmetics industry has boomed in recent years reaching an 11.6% growth for the case of the cosmetic industry only in Colombia (Portafolio, 2017), thanks to the accelerated development of these industries and their need to make their products more striking consumer, more than 100,000 commercial dyes have been created, of which around 700,000 tons are produced annually and it is estimated that around 2% of the annual production is discharged into the effluents (Hernández K., 2012), constituting one of the biggest challenges in the treatment of water, since these dyes can have negative effects on health, this is because some dyes in their components and byproducts, if they are accumulated in the human organism can generate some type of cancer and mutations; At the environmental level, it also significantly affects the visual and / or aesthetic quality of water bodies, thus impacting the environment, deteriorating its fauna and flora. (Manu, B. et al. 2003).

Among the proposed technologies for the removal of dyes we find the adsorption considered one of the most efficient treatment methodologies, but its high operating costs derived from the use of adsorbents such as activated carbon, have promoted the evaluation of various materials, as well as the purpose of contributing to the research of new materials was established as the general objective of the project is to study the capacity of bioadsorption of residual biological materials such as orange bark (Citrus Sinensis), Bagasse of Caña (Saccharum officinarum) and Borra de Café (Cofeea Arabica), in order to demonstrate the processes of remediation and / or purification of the effluents contaminated with the bright blue dye FCF; taking into account that the biosorption technique is chosen not only because it represents a low cost but also because it represents a decrease in the volume of chemical and / or biological sludges as they are biodegradable materials.

The adsorption behavior of the bright blue dye FCF dissolved in synthetic solutions was determined using orange bark (CN), sugar cane bagasse (BCÑ) and coffee blot (BC), the variables evaluated were contact time, pH and particle size, at a concentration of 100 ppm in a batch reactor with continuous agitation and 1 g of adsorbent material. The content of the dye was quantified by UV-Vis spectrometry, obtaining removals of 62.9% for BCÑ, 95% for CN and 98.6% for BC at pH 2. With the results obtained, a study was performed in a column using Borra de Café obtaining removals of 100% for a time of 90 minutes, determining that the coffee eraser as well as the orange peel are a new alternative for the removal of the bright blue dye FCF

Key words: Bioadsorption, Colorant, Bright blue FCF, orange bark (citrus sinensis), sugarcane bagasse (saccharum officinarum), coffee blot (coffea arabica), percentage of removal, Column.

Evaluación de la capacidad de adsorción de la corteza de naranja (citrus sinensis), bagazo de caña de azucar (saccharum officinarum) y borra de café (coffea arabica) para la remoción del colorante azul brillante fcf.

Resumen.

La industria alimentaria y cosmética ha tenido un auge en los últimos años llegando a un crecimiento del 11,6% para el caso de la industria cosmética solo en Colombia (Portafolio, 2017), gracias al desarrollo acelerado de estas industrias y su necesidad por hacer sus productos más llamativos al consumidor se han creado más de 100.000 colorantes comerciales, de los cuales se producen alrededor de 700.000 toneladas anuales y se estima que alrededor de un 2% de la producción anual son descargados en los efluentes (Lalnunhlimi. S, 2016), constituyendo uno de los mayores desafíos en el tratamiento de aguas, ya que dichos colorantes pueden traer efectos negativos a la salud, esto se debe a los componentes y subproductos de algunos colorantes que al ser acumulados en el organismo humano pueden generar algún tipo de cáncer y mutaciones (Castellar, O. et Al. 2017); a nivel ambiental también afecta notablemente la calidad visual y/o estética de los

cuerpos de agua, impactando así el ambiente, deteriorando su fauna y flora. (Manu, B. et Al. 2003).

Entre las tecnologías propuestas para la remoción de colorantes encontramos la adsorción considerada como una de las metodologías de tratamiento más eficientes, pero sus elevados costos de operación derivados del uso de adsorbentes como el carbón activado, han impulsado la evaluación de diversos materiales, así con el propósito de contribuir a la investigación de nuevos materiales se estableció como objetivo general del proyecto estudiar la capacidad de bioadsorción de materiales biológicos residuales como la corteza de naranja (Citrus Sinensis), Bagazo de Caña (Saccharum officinarum) y Borra de Café (Cofeea Arabica), con el fin de evidenciar los procesos de remediación y/o depuración de los efluentes contaminados con el colorante Azul brillante FCF; teniendo en cuenta que se escoge la técnica de bioadsorción no solo porque representa un bajo costo sino también porque representa una disminución en el volumen de lodos químicos y/o biológicos al tratarse de materiales biodegradables.

En el desarrollo de la investigación se determinó el comportamiento de adsorción del colorante azul brillante FCF disuelto en soluciones sintéticas utilizando para ello corteza de naranja (C.N), bagazo de caña de azúcar (B.C.Ñ) y borra de café (B.C), las variables evaluadas fueron tiempo de contacto, pH y tamaño de partícula, a una concentración de 100 ppm en un reactor batch con agitación continua y 1 g de material adsorbente. El contenido del colorante se cuantificó por espectrometría UV-Vis, obteniendo remociones del 62.9% para B.C.Ñ, 95% para C.N y 98.6% para B.C a pH 2. Con los resultados obtenidos se realizó un estudio en columna utilizando B.C. obteniendo remociones del 100% para un tiempo de 90 minutos, determinando que la borra de café, así como la corteza de naranja son una nueva alternativa para la remoción del colorante azul brillante FCF, se comprobó la repetibilidad de las mediciones tanto de la curva de calibración como de las pruebas discontinuas encontrando porcentajes de precisión de 99.74% y 72.6% respectivamente, lo que nos indica que existe una alta probabilidad de obtener resultados similares bajo las mismas condiciones manejadas en este trabajo.

Palabras clave: Bioadsorción, Colorante, Azul brillante FCF, corteza de naranja (citrus sinensis), bagazo de caña de azúcar (saccharum officinarum), borra de café (coffea arabica), porcentaje de remoción, Columna.

Materiales y métodos

Obtención del material adsorbente: Colectar de forma aleatoria según norma NTC 4113-2.

Preparación y caracterización de bioadsorbentes: lavar con agua desionizada 30 minutos, repetir cuatro a cinco veces (Ojeda. R. 2012.). calentar a 60°C (24 horas), evitar desnaturalización de la pectina a 90°C (Duran V. et al.2012) esto para borra de café y corteza de naranja. El bagazo de caña, tratar a 90°C. Moler y tamizar La borra de café, activar con ácido fosfórico (85%) y lavar con agua desionizada, filtrar y secar a 90° C.

La corteza de naranja, desmetoxilar con NaOH 0.2 M 30 minutos, lavar con agua desionizada y CaCl2 0.2 M, agitar 60 minutos, lavar, filtrar y secar a 60° C, el bagazo de caña activar con ácido sulfúrico 0.1 M, lavar con agua, tratar con cloruro que zinc, lavar con agua y secar a 90° C.

Tamizar cada bioadsorbentes con tamaños de partícula entre 2-1 mm, 1-0,5 mm y menores a 0,5 mm.

Preparación del colorante (disolución stokc): Disolución acuosa de 99.7 mg/L. (Nharingo T. et al. 2013)

Preparación de disoluciones de trabajo: Preparan disoluciones acuosas de concentraciones de 29.79; 39.79; 59.58;79.44 y 99.33 mg/L.

Técnica Espectrofotométrica. Curva espectral: En espectrofotómetro Genesys 10 uv-vis, en una celda agua des ionizada (blanco) y en otra celda disolución 100 ppm. Variar longitud de onda (500 a760 nm cada 2 nm) y determinar el valor de máxima absorbancia.

Curva de calibración: Medir absorbancia de disoluciones de trabajo, elaborar una curva de calibración. Graficar Absorbancia (eje" y") "y concentración (eje "x"). Ajustar la ecuación de la recta (y=mx+b) y coeficiente correlación lineal.

Precisión de la medición: Medir absorbancia de disolución de trabajo (29.79 mg/L), repetir de 10 a 15 veces. Aplicar cálculos estadísticos (media, desviación estándar, coeficiente de variación y confiabilidad).

Preparación blanco analítico de técnica de espectrofotometría: 25 mL de agua des ionizada, ajustar pH (2 y 4) para cada adsorbente. Agregar 1 g de cada bioabsorbente y agitar dos horas a 180 rpm. Medir 9 mL de cada muestra, centrifugar 5 minutos y filtrar.

Prueba en discontinuo (batch): Realizar los estudios de tamaño de partícula, pH y tiempo de contacto en simultaneo, medir 50 ml de la disolución stok y 1 gramo de los bioadsorbentes, variar tamaños de partícula (2-1 mm, 1-0,5 mm y menores a 0,5 mm), probar pH 2 y 4, agitar 150 rpm; leer absorbancias a; 60, 120, 240, 360, 480 y 1440 min., centrifugar y medir absorvancias.

Determinar las concentraciones del colorante residual: Hallar la capacidad de adsorción del bioadsorbente mediante la ecuación número 4, así como el porcentaje de remoción mediante la ecuación número 5. Ecuación 1 Capacidad adsorción del bioadsorbente. $Q = \frac{\text{Cinicial} - \text{Cfinal}}{\text{W} * \text{V}}$ donde: **Cinicial** y **Cfinal (ml/l)** concentraciones iniciales y finales del colorante en la solución respectivamente. **V (L)** es el volumen de solución. **W (g):** cantidad de adsorbente. Ecuación 2 Porcentaje de remoción: $\%\ \text{remoción} = \frac{\text{Cinicial} - \text{Cfinal}}{Cinicial} * 100$, donde: Cinicial **(ml/l),** Cfinal **(ml/l)**: concentración inicial y final del estándar.

Prueba en contínuo (columna): Construir columna (diámetro 5.0 cm y 20 cm longitud) (Castellar G. C., et al, 2013). el tamaño de partícula y el ancho de la columna debe ser mayor o igual a 10 (Nemec & Levec, 2005) Con la prueba bach de mejor remoción y adaptar condiciones. 1 g del material adsorbente, utilizar fibra de vidrio debajo del adsorbente. Alimentar columna con bureta de 25 mL, activar con y determinar el volumen muerto, cambiar el agua por la disolución colorante. Determinar el caudal. Realizar estudio estadístico.

Tomar alícuotas de fluido a la salida del lecho a los 0, 5, 10, 20, 45, 90 y 120 min. Leer absorvancias.

Resultados y discusión.

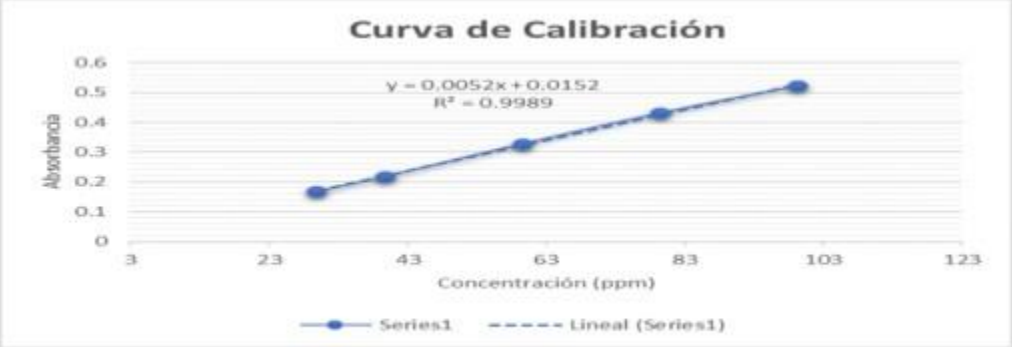
Estandarización de la técnica analítica espectrofotométrica de medición del analito de interés.

Masa de estándar azul brillante en disolución stock: 0.0498 g de colorante rojo allura y aforo a 500 mL.

Curva espectral: Se comprobó la longitud de onda de máxima absorbancia 100 ppm, corresponde 630 nm y 0.612 de absorvancia, acercándose a los referentes 608 nm y 0.615 de absorbancia. La gráfica 1 representa la valoración experimental. Comportamiento obedece a la ley de lambert y beer la intensidad del haz de luz que atraviesa una sustancia disminuye exponencialmente al aumentar la concentración del analito.

Grafica 1. Curva espectral

Curva de calibración: En la gráfica 2 se puede observar los valores de absorbancia presentados a diferentes longitudes de onda; teniendo en cuenta que según la ley de Lambert- beer para soluciones diluidas, los valores de absorbancia encontrados se encuentran dentro del rango establecido (0.15-0.85).



Grafica 1 Curva de calibración

Grado de precisión de la medición: Se obtienen unos resultados estadísticos, registrados en la tabla 1, indicando un porcentaje de confiablidad (99.88%), garantiza resultados óptimos en la técnica analítica de medición. Determinando grado de concordancia de los ensayos independientes bajo las mismas condiciones, de acuerdo con la ISO 5725-1:1994.

Tabla 1. Estadística en medición de absorbancia disolución (100 ppm)

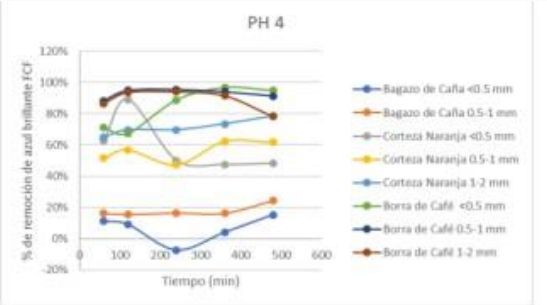
Parámetro	Valor
número datos totales	13
número datos seleccionados	12
Media aritmética	0.608
Desviación estándard	$7.4231*10^{-4}$
Coeficiente de variación (%)	0.12
Confiabilidad (%)	99.88

Pruebas en discontinuo (batch):

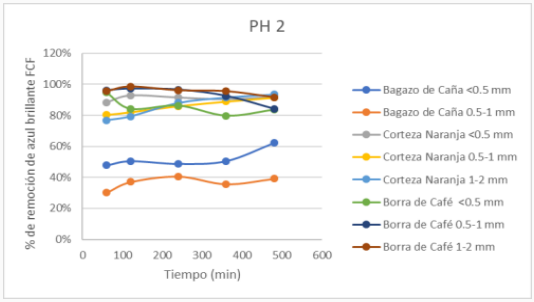
Efectos del pH

El colorante depende del pH, afecta carga superficial del adsorbente y estructura del colorante; pH ácidos (1.4 y 4) favorece la adsorción de aniones (Vásquez, Y. 2013), por tanto, se trabajaron los pH 2 y 4, ya el colorante problema transforma en un aniónico puesto que el sodio (Na+) se disocia al entrar en contacto con el agua y el oxígeno catiónico.

En las gráficas 3 y 4 se muestra la influencia del pH en el porcentaje de remoción del colorante, los mejores resultados para cada una de las biomasas en un pH igual 2, excepto de la borra de café con partícula 0.5 mm quien y remociones de hasta el 97% en pH 4, con remociones hasta 99% a pH 2, mientras que en pH 4, mostro lo contrario a la remoción (-7%) con el bagazo de caña de tamaño de partícula menor a 0.5 mm.



Grafica 2 porcentaje de remoción vs. Tiempo a pH 2



Grafica 3 porcentaje de remoción vs. Tiempo a pH 4

Los resultados obtenidos son gracias a que sobre la superficie de los adsorbentes en los grupos hidroxilo presentes, tales como los propios de la celulosa, lignina, hemicelulosa, ocurre el proceso de protonación; el ambiente acido produce cationes sobre los grupos hidroxilo de los adsorbentes con pares electrónicos sin compartir sobre el oxígeno se pueden protonar con ácidos fuertes (Shaheed, H. et al, 2016), con un pH menor (pH 2) los grupos protonados son mayoesr y la superficie del material adsorbente positiva atrae aniones (Dávila Jiménez et al., 2009). La adsorción se ve favorecida a un pH más ácido.

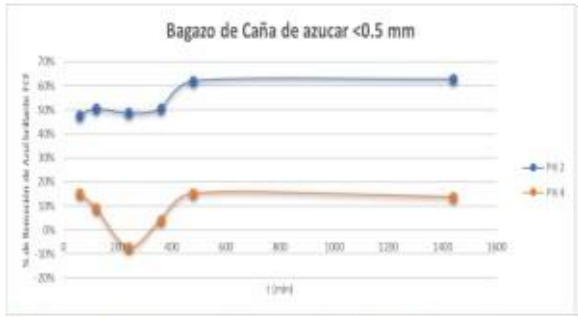
Precisión de la técnica de adsorción de los tres adsorbentes: La tabla 3 muestra la mejor estadística corresponde a cascara de naranja y borra de café.

Tabla 3. Resultados estadísticos en técnica de adsorción.

Parámetro	Cascara de naranja	Borra de café	Bagazo de caña
número datos totales	10	10	10
número datos seleccionados	9	9	8
Media aritmética	99.83	99.96	85.15
Desviación estándard	1.2016	0.9991	36.07
Coeficiente de variación (%)	1.2036	0.9995	42.36
Confiabilidad (%)	98.80	99.00	57.63

Efectos del Bioadsorbente y tamaño de partícula.

Bioadsorción con bagazo de caña de azúcar. La activación en medio ácido favorece la adsorción, los comportamientos se representan en las gráficas 5 y 6.



Grafica 4. Remoción bagazo de caña < 0.5 mm.

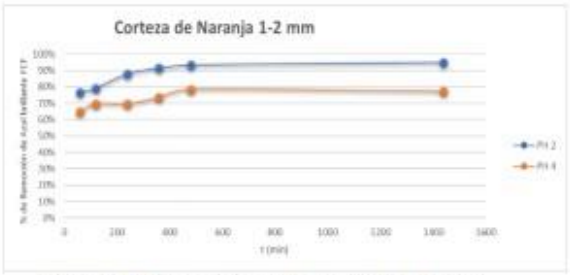
Grafica 5. Remoción bagazo de caña 0.5-1mm

El bagazo de caña está compuesto mayoritariamente por celulosa (52.06%) y Hemicelulosa (77.8%), (Universidad Nacional de Trujillo 2016) el colorante Azul brillante se une principalmente a los grupos funcionales hidroxilo y carboxilo, interactuando electrostáticamente entre la parte anionica del colorante y la forma protonada del adsorbente.

Bioadsorción con corteza de naranja. Como se evidencia en las gráficas 7, 8 y 9 en la remoción del colorante es el parámetro más importante es la influencia de pH acido en el medio, a partir de esta condición los parámetros tamaño de partícula y tiempo de contacto tendrían la misma importancia debido a que a mayor tiempo de contacto (360, 480 y 1440 minutos) a un tamaño de partícula de 1 a 2 mm, las concentraciones del colorante disminuyen en el medio, alcanzando porcentajes de eficiencia del 95% a los 1440 minutos; sin embargo al utilizar un tamaño de partícula inferior a 0.5 mm con tiempos de contacto de 60, 120 y 240 minutos.

Grafica 6.Remoción C. naranja < 0.5 mm

Grafica. Remoción C. naranja.0.5-1mm

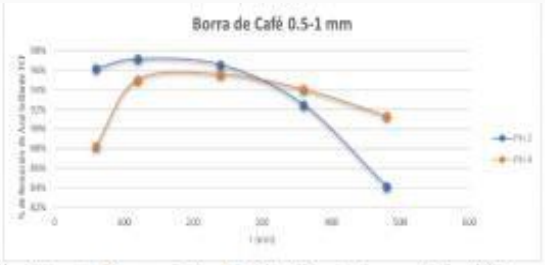


Grafica 3. Remoción C. de naranja 1-2 mm.

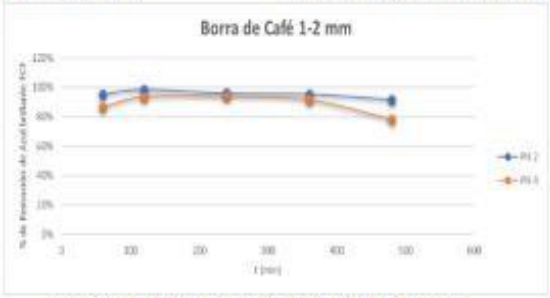
Bioadsorción con borra de café.

La capacidad de adsorción del colorante con e borra de café, es dependiente del pH, la concentración del colorante disminuye, alcanzando eficiencias superiores al 71% a pH 4 a < 0.5mm de partícula y mayores del 86% en tamaño de partícula 0.5-1 mm y 1-2 mm (gráficas 10, 11 y 12). A pH 2 se alcanzó porcentajes de remoción superiores al 95% en todos los tamaños de partícula y una hora de agitación.

Grafica 7. Remoción B.Café a < 0.5 mm



Grafica. 8.Remoción B. Café a 5-1 mm Graf. 9



Grafica 10 Remoción B.Café 1-2 mm

Prueba en continuo (Columna): los resultados son reportados para un tiempo de 2 horas (120 minutos), con una concentración inicial de 100 mg/l de azul brillante FCF, pHconstante, tamaño de partícula entre 1-2 mm y cantidad del material Bioadsorbente (borrade café) de 6.5 g, como se evidencia en la gráfica 13.

Grafica 11.Remoción B.café 1-2 mm

Los resultados de la prueba Bach, la borra de café (1-2 mm y pH 2), se replican en una columna de vidrio con diámetro de 5 cm. El mayor porcentaje de remoción fue de 98,60%, con caudal de 0.008 mL/s, La tabla 3 indica la confiabilidad de la técnica de adsorción, toda vez que su confiabilidad es del 99.56 % en prueba de columna.

Tabla 3. Variables estadísticas resultantes de las réplicas de adsorción en columna.

Parámetro	Tusa de maíz
número datos totales	12
número datos seleccionados	11
Media aritmética	98.74
Desviación estándard	0.51
Coeficiente de variación (%)	0.45
Confiabilidad (%)	99.55

Conclusiones

-La optima eficiencia de adsorción se obtuvo con B. café (1-2 mm) con un 98.60% de eficiencia en prueba Bach.

-La remoción de Azul brillante FCF en aguas sintéticas a concentraciones de 100 ppm, con un tamaño de partícula de 1-2 mm, se consiguió obtener un máximo porcentaje de remoción del 98,6%, para un pH de 2 y un tiempo de 120 minutos, siendo estas las mejores condiciones que presento el proceso de adsorción en esta investigación.

-Bajo sistema continuo la borra de café mostro eficiencias de hasta el 100% con una altura del lecho de 5 cm, para una concentración inicial de 100 ppm a pH 2, estos resultados señalan que puede relacionarse como adsorbente para la construcción de filtros en el tratamiento del azul brillante fcf.

Referencias

-Castellar G. et al, (2013), Remoción de azul de metileno por la microalga chlorella sp. Viva, Universidad del Atlántico, autónoma del caribe, Zulia

-Duran V. & M. Honores (2012). Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cascara de Maracuyá (Passiflora edulis) Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador

-Nharingo T. et al. (2013) Explorando la biosorción del colorante azul de metileno sobre el bagazo de caña de azúcar tratado con ácido, Revista Internacional de Investigación Actual; Vol. 5, edición, 8, p. 2169-2175

-Nemec, D., & Levec, J. (2005). Flow through packed bed reactors: 1. Single-phase flow. Chem Eng. Sci. 60, 6947−6957

RELACIONES EXPLÍCITAS ENTRE LOS COEFICIENTES DE RUGOSIDAD EN TUBERÍAS: ¿UNA LUZ AL FINAL DEL DILEMA?

Ing. Santiago Villanueva Valencia, Consultor hidráulico [(1),] Av Calle 26 # 69-63 Of. 516, Bogotá D.C-Colombia. Código postal 110931 Email: saviva1961@gmail.com

Resumen (Abstract)

Mucho se ha especulado hasta nuestros días con respecto a los coeficientes de rugosidad o mejor de "resistencia hidráulica" para flujo de agua en tuberías, al punto en que las normas vigentes no se atreven a recomendar valores únicos para los coeficientes de Manning, pero sin embargo sí recomiendan valores únicos para las rugosidades absolutas Ks aplicables a la ecuación de Darcy-Weisbach. El hecho de que en la ecuación de Manning el factor o coeficiente de rugosidad se encuentre explicito dentro la misma, a diferencia de la ecuación de Colebrook -White, en la cual el factor de fricción presenta una variación implícita dentro de la misma, ha hecho pensar por tiempos que no es posible encontrar una correspondencia directa entre el "Ks" y el "n".

Palabras clave (Key Words)

Coeficientes, rugosidad, hidráulica, Manning, Ks, n.

RELACIONES EXPLÍCITAS ENTRE LOS COEFICIENTES DE RUGOSIDAD EN TUBERÍAS: ¿UNA LUZ AL FINAL DEL DILEMA?

Introducción

El propósito del presente trabajo técnico es mostrar que es posible ligar los coeficientes de Manning con las rugosidades absolutas Ks aplicables a la ecuación de Darcy-Weisbach mediante expresiones explicitas, utilizando como base algunas investigaciones realizadas por científicos contemporáneos de la hidráulica tales como Willi H. Hager y Sinniger a finales de los años 80 y publicados en la última década en libros de aplicación práctica de hidráulica de aguas residuales, desarrollando los conceptos allí planteados para obtener los objetivos mencionados y finalmente comparándolos con resultados de experimentos de laboratorio de hidráulica documentados al respecto.

Material y metodología

El investigador Willi Hager encontró que para efectos del flujo de agua a superficie libre en la mayoría de aplicaciones comerciales, los números de Reynolds generalmente toman lugar entre $3x10^4$ y $3x10^7$, y la rugosidad relativa ε entre 10^{-5} y 10^{-1}, como lo muestra la ilustración 1. dentro del diagrama de Moody.

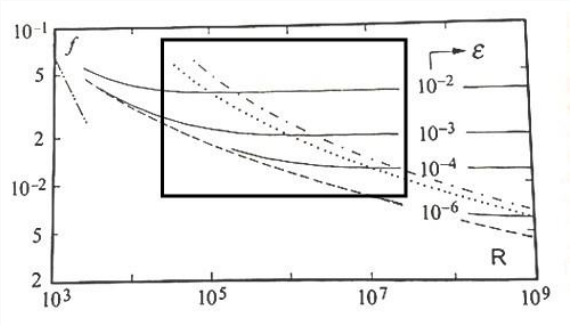


Ilustración 1. Diagrama de Moody, explicación grafica de la ecuación 1, factor de fricción f del número de Reynolds $R = VD/v$ para varios valores de rugosidad relativo $\varepsilon = ks/D$ (Ec.1) (-..-) flujo laminar,(-.-) 0.75% y (…) 1.5% de desviación del flujo turbulento completamente desarrollado tomado de Hager, W. H. (2010). Wasterwater Hydraulics, Second Edition.

La ilustración 1 muestra cómo se relacionan las variables f y Re que, dependiendo de la rugosidad relativa, mayor es el valor del factor de fricción "f".

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\,log\left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right), Re > 2300 \qquad \textbf{(Ecuación. 1)}$$

Donde,

$\varepsilon = Rugosidad\ relativa$

$f = Factor\ de\ fricción$

$Re = Numero\ DFD\ de\ Reynolds$

Si en el anterior diagrama se observa el rectángulo destacado, que corresponde a las aplicaciones comerciales del flujo de agua en conductos en general, los valores de coeficiente de fricción "f" de Darcy-Weisbach se dan prácticamente en la zona de turbulencia total, siendo asintóticos y sin mayor dependencia del número de Reynolds, evidenciando que las fuerzas viscosas en estas aplicaciones son despreciables en la determinación de la fricción frente a la acción de las fuerzas de resistencia hidráulica debidas a la pared del conducto que contiene el fluido transportado.

Aproximaciones explicitas

Las siguientes aproximaciones explicitas encontradas por los investigadores Sinniger y Hager (1989) permiten relacionar el coeficiente de rugosidad absoluta Ks con parámetros hidráulicos normales de diseño.

Criterio #1:

$$D^* = \frac{Ks^{*\,0.03}}{1.853}, \qquad para\ 10^{-8} < \varepsilon < 7x10^{-4} \qquad (\textbf{Ecuación. 2})$$

Criterio #2:

$$D^* = \frac{Ks^{*\,1/16}}{1.422}, \qquad para\ 7x10^{-4} < \varepsilon < 7x10^{-2} \qquad (\textbf{Ecuación. 3})$$

Donde la explicación de cada una de las variables empleadas en estas fórmulas es como sigue:

$D^* = D/D_0$

$Ks^* = Ks/D_0$

$D_0 = [Q^2/(gSf)]^{1/5}$

$\varepsilon = \frac{Ks}{D}$

En este segundo caso (criterio #2) se presenta que si se cumple la condición de flujo en la zona turbulenta totalmente desarrollada (lo cual no es difícil de encontrar en las aplicaciones prácticas de flujo con agua), se debe verificar la siguiente desigualdad:

$$Ks > 30v(g^2 sf^2 Q)^{-\frac{1}{5}} \qquad \textbf{(Ecuación. 3A)}$$

Donde:

$Ks = Rugosidad\ absoluta$

$v = \text{Viscosidad cinemática}$

$g = Gravedad$

$sf = Gradiente\ hidráulico$

$Q = Caudal$

Asegurando que las superficies en consideración no son ni muy lisas ni muy rugosas.

2.2. Desarrollo de las aproximaciones explícitas

Si desarrollamos la ecuación 2 que corresponde al criterio # 1, reemplazando las variables $K_S{}^*$ y D^* por sus valores explícitos, se tiene:

$$K_S{}^{*\,0.03} = 1.853\ D^*; \rightarrow \frac{K_S{}^{0.03}}{D_0{}^{0.03}} = \frac{1.853\ D}{D_0}$$

Introduciendo la equivalencia de la variable normalizada D_0 se tiene:

$$K_S{}^{*\,0.03} = 1.853\ D^*; \rightarrow \frac{K_S{}^{0.03}}{D_0{}^{0.03}} = \frac{1.853\ D}{D_0}$$

Introduciendo la equivalencia de la variable normalizada D_0 se tiene:

$$K_S{}^{0.03} = \frac{1.853\ D}{D_0{}^{0.97}} = \frac{1.853\ D}{\left(\frac{Q^2}{g\ s_f}\right)^{\frac{1}{5}*0.97}} \qquad \textbf{(Ecuación. 4)}$$

Si ligamos esta ecuación con la de Manning (a tubo lleno)

$$Q = \frac{1}{n}\,\frac{\pi}{4^{\frac{5}{3}}}\,D^{\frac{8}{3}}\,sf^{\frac{1}{2}} \qquad (\textbf{Ecuación. 5})$$

Reemplazando 5 en la ecuación 4 se tiene:

$$K_S{}^{0.03} = \frac{1.853\;D\;g^{\;0.194}sf^{\;0.194}}{\left(\frac{\pi}{n}\,\frac{D^{\frac{8}{3}}}{4^{\frac{5}{3}}}\,sf^{0.5}\right)^{0.388}} = \frac{1.853\;D\;g^{\;0.194}\,sf^{\;0.194}\,n^{\;0.388}\;4^{\frac{1.94}{3}}}{\pi^{0.388}\;D^{\frac{3.104}{3}}\;sf^{\;0.194}}$$

$$K_s = \left(\frac{1.853 * 4^{\frac{1.94}{3}}}{\pi^{0.388}}\right)^{\frac{1}{0.03}}\;g^{\;\frac{0.194}{0.03}}\;D^{\left(1-\frac{3.104}{3}\right)\frac{1}{0.03}}\;n^{\;\frac{0.388}{0.03}}$$

$$K_s = 3x10^{15}\;g^{97/15}\;D^{-0.104/0.09}\;n^{194/15} \qquad (\textbf{Ecuación. 6})$$

$$n = \frac{Ks^{15/194}D^{1.56/17.46}}{3^{15/194}10^{225/194}\sqrt{g}} \qquad (\textbf{Ecuación. 6A})$$

Si desarrollamos la ecuación 3 que corresponde al **criterio # 2,** se tiene**:**

$$D^* = \frac{Ks^{*\,1/16}}{1.422} \rightarrow \frac{1.422\;D}{D_0} = \frac{Ks^{1/16}}{D_0{}^{1/16}} \rightarrow Ks^{1/16} = \frac{1.422\;D\;D_0^{1/16}}{D_0} = \frac{1.422\;D}{D_0{}^{15/16}}$$

$$Pero\;D_0 = \left(\frac{Q^2}{gsf}\right)^{1/5} \rightarrow Ks^{1/16} = \frac{1.422D}{\left[\left(\frac{Q^2}{gsf}\right)^{1/5}\right]^{15/16}}$$

$$Ks^{1/16} = \frac{1.422D}{\left[\frac{Q^{2/5}}{(gsf)^{1/5}}\right]^{15/16}} \qquad (\textbf{Ecuación. 7})$$

$$Ks^{\frac{1}{16}} = \frac{1.422D\;g^{3/16}sf^{3/16}}{Q^{3/8}} \rightarrow Q^{3/8} = \frac{1.422\;D\;g^{3/16}sf^{3/16}}{Ks^{1/16}} \rightarrow Q = \frac{1.422^{8/3}\;D^{8/3}g^{\left(\frac{3}{16}*\frac{8}{3}\right)}sf^{\left(\frac{3}{16}*\frac{8}{3}\right)}}{Ks^{\left(\frac{1}{16}*\frac{8}{3}\right)}}$$

$$Q = 2.56\;D^{8/3}(gsf)^{1/2}Ks^{-1/6} \qquad (\textbf{Ecuación. 7A})$$

La descarga, en este caso especial, depende en su gran mayoría del diámetro y no tanto del gradiente hidráulico sf y bastante insignificantemente de la altura de rugosidad equivalente de arena Ks.

Partiendo nuevamente de la ecuación 7:

$$Ks^{1/16} = \frac{1.422D}{\left[\left(\frac{Q^{2/5}}{gsf^{1/5}}\right)\right]^{15/16}}$$

$$Ks^{1/16} = \frac{1.422D}{\frac{Q^{3/8}}{(gsf)^{3/16}}} \qquad (\textbf{Ecuación. 8})$$

Remplazamos la ecuación 5 en la 8

$$Ks^{1/16} = \frac{1.422D\ g^{3/16}sf^{3/16}}{\left(\frac{\pi}{n}\frac{D^{8/3}}{4^{5/3}}sf^{1/2}\right)^{3/8}} = \frac{1.422D\ g^{3/16}sf^{3/16}}{\left(\frac{\pi^{3/8}}{n^{3/8}}\frac{D}{4^{5/8}}sf^{3/16}\right)} = \frac{1.422\ g^{3/16}n^{3/8}4^{5/8}}{\pi^{3/8}} = \frac{1.422 * 4^{\,5/8}}{\pi^{3/8}}\ g^{3/16}n^{3/8}$$

$$Ks = \left(\frac{1.422 * 4^{\,5/8}}{\pi^{3/8}}\right)^{16} \left(g^{3/16}\right)^{16}\left(n^{3/8}\right)^{16} = \left(\frac{1.422^{16} * 4^{\,10}}{\pi^{6}}\right) g^3n^6 = 304856\ g^3n^6$$

$$n = \left(\frac{Ks}{304856\ g^3}\right)^{1/16} = \frac{0.1219\ Ks^{1/6}}{g^{1/2}} \qquad (\textbf{Ecuación. 9})$$

La ecuación 9 del criterio # 2 permite una correspondencia directa entre el valor de n y los valores de Ks para caudales en el régimen turbulento completamente desarrollado.

Resultados y discusión

Para validar los resultados anteriormente obtenidos mediante las aproximaciones de Sinniger y Hager podemos acudir a estudios de laboratorio realizados en el pasado y publicados internacionalmente, tales como el estudio practicado por el St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory de la universidad de Minnesota para el departamento de carreteras del estado de Florida y la oficina de obras públicas. Dichos experimentos se realizaron sobre tuberías para medir las rugosidades en **Diciembre 1960, Resistance to flow in two type of concrete pipes,** en la cual se midieron los coeficientes de rugosidad de Manning y factores de fricción de Darcy-Weisbach para tuberías fundidas en sitio con un diámetro de 24” y 36” y tuberías prefabricadas con un diámetro de 24”; como resultado se obtuvieron: para tuberías de 24” y 36” fundidas en sitio un coeficiente de rugosidad de Manning “n” de 0.011, y para tuberías de 24” prefabricadas, un “n” de Manning con valores de 0.00907 < n < 0.01029 (Lorenz G. Straub, 1960). Se tiene:

Para tuberías de 24” fundidas en sitio de concreto

$D = 0.6132\ m$, $Ks_{lab} = 0.347\ mm$ (Calculado a partir de los factores de fricción obtenidos en el experimento asegurando un efecto despreciable de la viscosidad)

$\varepsilon = \frac{Ks}{D} = \frac{0.347x10^{-3}}{0.6132} = 5.65x10^{-4} < 7x10^{-4}$, Para lo cual sería aplicable el criterio #1.

Usando la ecuación 6A tenemos:

$n_{criterio\#1} = 0.0105$

$n_{Lab} = 0.011$

Para una aproximación a tres cifras significativas los resultados son equivalentes.

Para tuberías de 36" fundidas en sitio de concreto, se tiene:

$D = 0.9162\ m, Ks_{lab} = 0.247\ mm$ (Calculado a partir de los factores de fricción obtenidos en el experimento asegurando un efecto despreciable de la viscosidad)

$\varepsilon = \frac{Ks}{D} = \frac{0.247x10^{-3}}{0.9162} = 2.7x10^{-4} < 7x10^{-4}$ Para lo cual sería aplicable el criterio #1.

Usando la ecuación 6A tenemos:

$n_{criterio\#1} = 0.0108$

$n_{Lab} = 0.011$

Para una aproximación a tres cifras significativas los resultados son equivalentes.

Para tuberías de 36" prefabricadas de concreto

$D = 0.914146\ m, Ks_{lab} = 0.04582\ mm$

$\varepsilon = \frac{Ks}{D} = \frac{0.04582x10^{-3}}{0.914146} = 5.01x10^{-4} < 7x10^{-4}$ Para lo cual sería aplicable el criterio #1.

Usando la ecuación 6A tenemos:

$n_{criterio\#1} = 0.0093$

$$n_{Lab} = 0.00907 < n < 0.01029$$

La variabilidad del "n" obtenido en laboratorio (aunque no es muy alta) para regímenes de flujo muy diferentes y con números de Reynolds entre 134000 y 3.5x10^6, denota un comportamiento más parecido al de tubos lisos, pero con una media de 0.00968, que para una aproximación de cuatro cifras significativas variaría solo en 4 diez milésimas con respecto a lo obtenido teóricamente con la ecuación 6A, validando el uso de la misma.

En otros experimentos de laboratorios documentados, tales como el Study of Manning's Roughness Coefficient for Commercial Concrete and Plastic Pipe elaborado en enero de 1986 por el T. Blench Hydraulics Laboratoty de la University of Alberta en Edmonton Canadá, se encontró que el coeficiente de Manning para tuberías comerciales de concreto fue de 0.010, y para tuberías comerciales de plástico fue de 0.009.

Si aplicamos los desarrollos de las aproximaciones explicitas para un coeficiente de Manning de "n" = 0.009, obtenido en laboratorio para algún tipo de tubería comercial, se tiene, para diferentes diámetros:

D(M)	KS (M)	KS (MM)	Є=RS / D	CUMPLE
0.2	$1.525\ x\ 10^{-4}$	*0.0153*	$7.62\ x\ 10^{-4} > 7\ x\ 10^{-4}$	*Cumple criterio #2*
0.6	$4.84\ x\ 10^{-5}$	*0.0484*	$8.07\ x\ 10^{-5} < 7\ x\ 10^{-4}$	*Cumple criterio #1*
1.2	$2.173\ x\ 10^{-5}$	*0.0217*	$1.81\ x\ 10^{-5} < 7\ x\ 10^{-4}$	*Cumple criterio #1*
2.0	$1.204\ x\ 10^{-5}$	*0.0120*	$6.02\ x\ 10^{-6} < 7\ x\ 10^{-4}$	*Cumple criterio #1*

De acuerdo con los resultados anteriores, se evidencia que aún para un diámetro tan grande como 2.0 m el valor de la rugosidad absoluta no va a ser menor de 0.012 mm. Este resultado contrasta con lo publicado por algunos fabricantes en el sentido de que las rugosidades absolutas para algunos tipos de tuberías podrían ser tan bajas como 0.00135 mm. Es posible que, al realizar alguna medida interna de la rugosidad con métodos sofisticados auxiliados por tecnologías láser o nanotecnologías, se encuentre este rango de rugosidades tan bajas; sin embargo, cuando se hace circular agua por el conducto, en la practica la

rugosidad “altura de grano equivalente de arena” es del orden de diez veces mayor, conforme resultados de laboratorio de hidráulica en pruebas documentadas. De hecho, habría que tener coeficientes de Manning tan bajos como entre 0.0062 y 0.0076 (valores no reportados en experimentos publicados) para obtener un Ks de $1.35\,x\,10^{-6}m = 0.00135\,mm$, en tuberías con rango de diámetros entre 0.2 m y 2.0 m.

Conclusiones

Los análisis anteriormente presentados en los cuales se retoman experimentos formales realizados hace 60 años y se analizan a la luz de las ecuaciones explicitas recientemente desarrolladas, denotan una congruencia muy satisfactoria, permitiendo concluir que es posible relacionar los coeficientes de fricción de Manning con las rugosidades absolutas “de altura de grano de arena equivalente” para las tuberías que transportan agua.

El hecho practico de que la rugosidad absoluta expresada como “altura de grano equivalente de arena” sea del orden de diez veces mayor a la que se mide con nanotecnologías, conforme resultados de laboratorio de hidráulica en pruebas documentadas, se debe sin duda al condicionamiento que causa el espesor de la subcapa limite laminar que necesariamente se adhiere internamente a la pared de la tubería, condicionando el valor del “Ks” que puede obtenerse en experimentos de laboratorio. Esta corrección es muy importante que se haga en las publicaciones que se tienen para propósitos de diseño, tales como el titulo D del RAS (en nuestro medio), porque la tabla que se presenta con los coeficientes de rugosidad absoluta “Ks” (tabla D.6.1), no seria consistente con la tabla en que se presentan los coeficientes de Manning “n” (Tabla D.6.2), según todas las argumentaciones esgrimidas en este documento. Asimismo, la variabilidad tan grande con que se presentan los coeficientes de Manning para un mismo material en la tabla D.6.2 no se compadece con la estrecha variabilidad para los mismos que se desprende de los análisis aquí presentados. Dejar un rango tan grande para el coeficiente “n” al criterio del diseñador, pero a su vez puntualizar valores específicos para el coeficiente “Ks”, no es una medida consistente en sí misma. Se sugiere revisar este tema.

Referencias bibliográficas

A.W. Peterson, M. P. (1986). *A Study of Manning´s Roughness Coefficient for Commercial Concrete and Plastic Pipes.* Edmonton Alberta Canadá.: University of Alberta. Recuperado el 05 de 01 de 2020

H.Hager, W. (2010). *Wastewater Hydraulics Theory and Practice.* New York: Library of congress Springer. Recuperado el 01 de 02 de 2020

Lorenz G. Straub, C. E. (1960). *Resistance to Flow in two Types of Concrete Pipe.* Florida: University of Minnesota. Recuperado el 1 de 02 de 2020

CONSTRUCCIÓN DEL OBSERVATORIO DE ECONOMÍA CIRCULAR E INNOVACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Luis Alfredo Avila Sguerra[1], Angui Yulieth Calvo Vergara[1*], Beatriz Elena **Ortiz[2]**

[1.] Bogotá D.C, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaría, Universidad de La Salle, Colombia. [2.] Coautora, Abogada, Mg. en derecho Ambiental.
[*]Autor corresponsal: Universidad de La Salle, Calle 51c sur #5ª – 70 este, 3023502602 - 312 4233640, Santa Rita S.O, Bogotá D.C., Colombia. Email: acalvo72@unisalle.edu.co / anguiyulieth@gmail.com

Abstract

The present document will present an academic activity developed at La Salle University based on the identification of strategies that contribute to current environmental problems, for this it will be given a conceptualization on Circular Economy and a description of the process carried out at the University for the construction of an observatory on Circular Economy and Innovation by students. Accordingly, it is established that some of the environmental problems are caused by the incorrect waste disposal generated daily in both households and Colombian industries, this is why the government has been interested in developing strategies that provide solutions to these problems, thus beginning to establish the concept of circular economy, which is based on the linear production systems transformation to circular production systems. Based on the above information and the term Circular Economy conceptualization, At La Salle University, the construction of the observatory on circular economy and innovation was carried out through the collection of information by students and the guidance of different teachers. For the development of this project, different parameters were determined that would allow the unification of information to be projected using digital tools, which can be used by anyone interested in circular economy, For this purpose, an academic competition was developed to allow students to identify some of the country's data on circular economy.

KeyWords: Circular economy, environmental problems, innovation, observatory.

CONSTRUCCIÓN DEL OBSERVATORIO DE ECONOMÍA CIRCULAR E INNOVACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Resumen

Se establece que algunas de las problemáticas ambientales son causadas por la incorrecta disposición de los residuos que a diario se generan en el país, es por esto que el gobierno se ha interesado en desarrollar estrategias que aporten soluciones para dichas problemáticas, con esto se comienza a establecer el concepto de economía circular, la cual es basada en la transformación de sistemas de producción lineal a sistemas de producción circular. Basados en la información anterior y la conceptualización del término de Economía Circular, en la Universidad de La Salle se desarrolló la construcción del observatorio sobre Economía Circular e Innovación mediante la recolección de información por parte de los estudiantes y la orientación de diferentes profesores, para el desarrollo de este, se determinaron diferentes parámetros que permitiera la unificación de información para ser proyectada mediante herramientas digitales, las cuales puedan ser utilizadas por cualquier persona interesaba en el tema de economía circular, para este se desarrolló un concurso académico que permitiera a los estudiantes identificar algunos de los datos con los que cuenta el país sobre economía circular. Dicho observatorio se estructura a partir de 4 módulos los cuales son; el geovisor, con el fin de visualizar localizados los datos encontrados, normatividad ambiental disponible sobre economía circular, indicadores sobre economía circular y por último los proyectos de innovación, en la cual, se encontraran todos aquellos proyectos que se han llevado a cabo en relación a la economía circular y que tengan un sentido de innovación en el país.

Abstract

It is established that some of the environmental problems are caused by the incorrect disposal of the waste generated daily in the country, this is why the government has been interested in developing strategies that provide solutions to these problems, This begins to establish the concept of circular economy, which is based on the transformation of linear production systems to circular production systems. Based on the above information and the conceptualization of the term Circular Economy, At the University of La Salle, the construction of the observatory on circular economy and innovation was carried out through the collection of information by students and the orientation of different professors for the development of this observatory, different parameters were determined that would allow the unification of information to be projected using digital tools, which could be used by anyone interested in the topic of circular economy, For this, an academic competition was developed to allow students to identify some of the country's data on circular economy. Said observatory is structured from 4 modules which are; the geovisor, in order to visualize localized data found, available environmental legislation on circular economy, circular economy indicators and finally innovation projects, in which, will be found all those projects

that have been carried out in relation to the circular economy and that have a sense of innovation in the country.

Palabras clave: Economía circular, innovación, problemáticas ambientales, observatorio.

Introducción

En la actualidad se pueden evidenciar todas las problemáticas ambientales que se ocasionan por la incorrecta disposición de los residuos, con esto, se habla de las alternativas y estrategias ambientales que se construyen para mitigar los impactos que se generan por el aumento de residuos en el mundo. Con relación a lo anterior, se presenta la economía circular, la cual, promueve un flujo cíclico para la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación de los materiales y la energía de productos y servicios disponibles en el mercado (Stahel, W. 2016), esta tiene un origen del campo de estudio de la ecología industrial que surgió a principios de los años noventa y que incluye pensamientos de la economía de servicios funcional o economía del rendimiento de Walter Stahel (Ayres & Simonis, 1994), tomó fuerza cuando la Fundación Ellen MacArthur público en el 2012, documentos de apoyo a los gobiernos y empresas para promover la economía circular como un camino para integrar la sostenibilidad ambiental y social al desarrollo económico.

En Colombia se han implementado programas por parte del Ministerio de Medio Ambiente que son relacionados con Economía circular; el 14 de Junio de 2019 el Gobierno Nacional da el lanzamiento de la Estrategia Nacional de Economía Circular, la cual, busca “la transformación de las cadenas de producción y consumo, a través del cierre de ciclos de materiales, agua y energía, en nuevos modelos de negocio y se convierte en pionero en Latinoamérica, además, se promueve la innovación y la generación de valor en sistemas de producción y consumo a través de optimizar, compartir, intercambiar y reciclar y regenerar materiales, agua y energía” (Ministerio de Ambiente. 2019), por ende, con el desarrollo de la economía circular se pretende transformar los sistemas productivos lineales para convertirlos en sistemas productivos circulares, es por esto que “el impulso de la economía circular trae beneficios económicos, ambientales y sociales. Los beneficios económicos de la economía circular son generados a partir dela valorización de los recursos en repetidos ciclos, lo que redunda en la reducción de costos de producción (Ellen MacArthur Foundation, 2014).”

Así mismo, por parte de diferentes sectores se han interesado en construir estrategias en función de contribuir a mitigar la problemática ambiental y cambio climático que se ha desarrollado hasta la actualidad, es por esto, que la Asociación Nacional de empresarios de Colombia (ANDI) y empresarios de diferentes sectores lanzaron una iniciativa que potencia la transición hacia la economía circular, se trata de Visión 30/30 la cual es una “Propuesta colectiva por medio de la cual las empresas avanzaran en una mejor gestión de los envases y empaques en Colombia, con acciones de reducción, reciclaje y reúso, promoción de prácticas de ecodiseño, desarrollo de nuevos modelos de negocio e

incremento gradual de tasas de aprovechamiento de papel, cartón, plástico, vidrio y metales (ANDI)".

En este escenario, la Universidad de La Salle busca contribuir con el desarrollo de la economía circular, para dar inicio a esto, se realizó un concurso con los estudiantes del semestre 2019-II que cursaron la asignatura de Legislación Ambiental e Instrumentos de Política Ambiental bajo el cargo de la docente Beatriz Elena Ortiz, este consistió en la recolección de información sobre economía circular que se presenta en el país. Para el caso de los estudiantes de Legislación Ambiental se recolectaron datos de empresas que se encaminan en las estrategias para economía circular, es decir, que gestionen, transformen o desarrollen actividades relacionadas con las 9 R dispuestas en la teoría de economía circular con los residuos que salgan de algún proceso productivo y brindarles unnuevo uso; en el caso de los estudiantes que cursaron la asignatura de Instrumentos de Política Ambiental recolectaron la información sobre la legislación y programas ambientalesbasados en la reutilización de materiales. La información recolectada por los estudiantes fue presentada por algunos de estos, dando a conocer el número de datos, bases de datosque se utilizaron y estos fueron reflejados en ArcGIS, el cual es un software basado en el manejo de sistema de información geográfica; a partir de esta presentación se realizó una serie de evaluaciones con jurados que tienen conocimiento previo de lo relacionado con laeconomía circular, para definir qué grupo de estudiantes realizo mejor el trabajo propuesto.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONCURSO DE BASE DE DATOS

Para la construcción de la base de datos del observatorio de Economía Circular e Innovación de la Universidad de La Salle, se tuvo la siguiente metodología: la docente a cargo de las materias mencionadas anteriormente organizó un concurso, el cual tenía como objetivo que los estudiantes se conectaran más con este tema de Economía Circular, indagando acerca de la normativa y de empresas involucradas en los procesos de transformación o llevadas a cabo bajo las 9R (Repensar, Reutilizar, Reparar, Restaurar, Remanufacturar, Reducir, Re-proponer, Reciclar y Recuperar) presentadas en la Economía Circular; dicho concurso tenía como finalidad que los estudiantes identificaranque datos sobre economía circular se presentan en el país y pudieran desarrollar una alternativa para presentarlos, para este caso se propuso manejar la herramienta ArcGIS para ser proyectados.

CREACIÓN DE BASES DE DATOS

La base de datos se construyó a partir de la caracterización de datos mediante categorías, subcategorías, las 9R y demás información que permitiera identificar la ubicación y actividad desarrollada por las empresas; para el caso de la normativa y programasambientales, se tuvieron en cuenta 1263 entre estos decretos, ley, resoluciones y otros, porotro lado, los criterios de evaluación estipulados para el concurso fue el número de datos recolectados, categorías y subcategorías para clasificar los residuos que fueron

seleccionados por los grupos de las asignaturas mencionadas anteriormente. Para la creación de las bases de datos y proyección de datos en el ArcGIS, cada uno de los grupos fue autónomo de diseñar su esquema de trabajo y asignar actividades a cada uno de sus integrantes.

LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Dentro de la asignatura de legislación ambiental se contaban con 4 grupos que cursaban esta materia, estos tenían la tarea de investigar empresas, puntos de recolección, artículos, puntos de reciclaje y otros que estuvieran vinculados con las 9R, teniendo como objeto algunos residuos, cada grupo manejo residuos y categorías diferentes para la creación de las bases de datos, a continuación, se presentaran los resultados que obtuvieron los 4 grupos de la materia de legislación ambiental, observar Tabla N°1.

Tabla 1. Datos obtenidos por los estudiantes de legislación ambiental

DATOS OBTENIDOS POR LOS ESTUDIANTES DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL			
GRUPO	**NÚMERO DE DATOS OBTENIDOS**	**RESIDUOS MANEJADOS**	**BASES DE DATOS MANEJADAS**
1	12751	5	10
2	5418	14	12
3	697	4	
4	2080	5	4

INSTRUMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL

Dentro de la asignatura de instrumentos de política ambiental, se centraron en buscar la mayoría de normativa existente de los residuos que se estaban manejando como: Orgánicos, Resol, Respel, Hospitalarios, Medicamentos, Papel y Cartón, Plaguicidas, RAEE, RCD entre otros, los resultados obtenidos por estos grupos se observan en la Tabla N°2.

Tabla 2. Datos obtenidos por los estudiantes de Instrumentación en política ambiental

DATOS OBTENIDOS POR LOS ESTUDIANTES DE POLÍTICA AMBIENTAL		
TIPO DE NORMA	DATOS	INDOLE
Decretos	94	Departamental: 5
		Distrital: 6
		Municipal: 4
		Nacional: 30
		N/A: 49
Resoluciones	61	Departamental: 8
		Distrital: 7
		Municipal: 7
		Nacional: 34
		N/A: 5
PGIRS	52	Municipal y Departamental: 1123
Ley	12	Departamento: 1
		Nacional: 11
Política	15	Departamental: 3
		Distrital: 2
		Municipal: 5
		Nacional: 5
Proyecto ley	1	Nacional: 1
Reglamento	1	Nacional: 1

SIMULACIÓN DE DATOS

Para la presentación de los datos de cada grupo se realizaron simulaciones días antes en los respectivos salones verificando el funcionamiento del visor geográfico con los datos recolectados, cabe resaltar que el sistema en el que se presentaron los datos registrados y mencionados anteriormente fue en el sistema de ArcGIS, cada grupo era autónomo de su presentación, teniendo en cuenta que los criterios a evaluar eran las categorías, subcategorías y número de datos. El día de la presentación los grupos realizaron sus presentaciones correspondientes de diferentes maneras, algunos diseñaron páginas web, presentaciones o manuales para el manejo de la información dispuesta tanto en las bases de datos como en el visor, para posteriormente los jurados seleccionar el grupo que mejor dispuso los datos y los presentó, a partir de evaluación y otros aportes realizados por los jurados.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos por los grupos de legislación ambiental, se puede evidenciar que en Colombia existe una gran cantidad de empresas que se encargan de generar o darles otro uso a estos residuos, esto teniendo en cuenta que para la construcción de la base de datos del observatorio de economía circular e innovación de la Universidad de La Salle, se consideraron empresas, gestores, generadores e investigaciones que tuvieran cercanía con estos temas, es por esto que el grupo número 1 presenta 12571 datos que fueron clasificados en 5 tipos de residuos , para ellos se manejaron bases de datos vigentes en los cuales se puede asegurar que la información es verídica, por otra parte el grupo 2 presento un total de datos de 5418, en los cuales se clasificaron en tres categorías que fueron, generadores que son las empresas, colegios que se encargan de generar el residuo, gestores siendo los que le dan un uso final al residuos en disposición involucrando alguna de las R de la economía circular e investigaciones siendo tesis o artículos científicos relacionados con este, este grupo tuvo en cuenta 14 residuos , el grupo número 3, siendo el que menos número de residuos utilizó para hacer su clasificación y número de datos obtenidos, se enfocó en otros aspectos que también eran relevantes a la hora de construir la base de datos y los criterios del concurso, estos utilizaron 4 residuos y manejaron 697 datos, el último grupo tuvo un total de 2080 datos que fueron clasificados en 5 residuos, estos tuvieron en cuenta los mismos parámetros y requerimientos de los grupos anteriores, cabe mencionar que una vez las bases de datos eran construidas se debían simular en un sistema de información geográfica, en el cual se debían mostrar la ubicación exacta de cada uno de los puntos investigados con su respectiva información, estos debían estar clasificados según el tipo de residuo, categorías y subcategorías según fueran los criterios de cada grupo. Por último, finalizadas las presentaciones se definió que el grupo ganador fue el número 3 que, aunque tenían el menor número de datos que los otros 3 presentaron su información de manera concreta y ordenada en el sistema de ArcGIS, manejando su propia página web.

Por otra parte se pudo evidenciar que en la segunda parte del trabajo de la construcción del observatorio de economía circular referente a la normativa existente en el país, esta cuenta con resoluciones, decretos, leyes entre otros, que rigen en cada municipio o departamento del país, esto con el fin de darle una correcta disposición final a los residuosque se trabajan, algunos de estos datos fueron categorizados según su índole, lo que quiere decir que es en el sitio al cual este aplica, bien sea Municipal, Departamental, Distrital o Nacional, en las bases de datos creadas por los estudiantes, cada norma esta categorizada según su índole y da a mayor detalle lo que ésta busca.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos y del proceso llevado a cabo para la construcción del observatorio se establecieron algunas características que debería presentar el mismo, para lo cual se identificaron las partes de las cuales estaría compuesto, las cuales son; el geovisor, en esta parte se podrán visualizar localizados los datos encontrados en la construcción de la base de datos con la información correspondiente, normatividad disponible, en esta se encontrará organizada la información correspondiente a la normatividad ambiental disponible sobre economía circular, indicadores sobre economía circular, en esta se podrán encontrar la información correspondiente a los indicadores con los cuales se puede medir el desempeño de un producto o una empresa en el contexto de la economía circular y por último se encontrará la parte de proyectos de innovación, en la cual, se encontrarán todos aquellos proyectos que se han llevado a cabo en relación a la economía circular y que tengan un sentido de innovación en el país.

Por otra parte, mediante la construcción de bases de datos y reconocimiento de los datos se dio paso a iniciar diferentes proyectos de investigación encaminados a fortalecer el observatorio, estos son; balance de masa y energía de los materiales (metabolismo), con este se busca identificar como es el proceso de transformación de los residuos como materia prima y los recursos que se disponen para esto, otra es el Análisis de bases de datos a partir de ArcGIS, con este se pretende que los estudiantes utilicen herramientas de su vida profesional para optimizar la visualización de resultados sobre economía circular, así mismo el de Economía circular rural- convenio con la ONU (valor económico del compostaje), este busca desarrollar herramientas y alternativas para las personas del campo, aquellos campesinos que a diario generan residuos y no saben cómo reutilizarlos para generar nuevos ingresos y por último el proyecto de Innovación rural y urbana, como se mencionó anteriormente con este se busca identificar procesos que se lleven a cabo para desarrollar productos innovadores tanto a nivel rural como urbano.

BILIOGRAFÍA

ANDI. Vision 30/30. Obtenido de http://www.andi.com.co/Home/Pagina/1040-vision-3030-gestion-de-envases-y-empaque

Ayres, R., & Simonis, U. (1994). Industrial metabolism: reestructuring for sustainable development. Obtenido de https://www.mincotur.gob. es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/351/ Economia02.pdf

Bohórquez, C. & Mosquera, J. (2019). **Principios de Economía Circular. Obtenido de** http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/dinamica-economica-y-distribucion-industria/principios-de-economia-circular

Cerdá,E. & Khalilova, A. (2015). ECONOMÍA CIRCULAR, ESTRATEGIA Y COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL. Economía industrial. Vol (401). pp (11-20). Obtenido de https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf

Ellen MacArthur Foundation. (2014). Towards the circular economy. Economic and business rationale for an acceler ated transition. Journal of Industrial Ecology.https://opendata.euskadi.eus/contenidos/estadistica/amb_flujo_materiales_2016/es_def/adjuntos/Indicadores_economia_circular_pais_vasco_2018.pdf

Ministerio de Ambiente. (2019). Beneficios de la economia circular. Obtenido de https://id.presidencia.gov.co/Paginas/prensa/2019/190614-Presidente-Duque-Estrategia-Nacional-Economia-Circular-primera-politica-ambiental-de-este-tipo-en-America-Latina.aspx

Stahel, W. R., "Circular Economy," Nature, pp. 6–9, 2016. http://www.um.edu.uy/docs/Economia_Circular.pdf

Ministerio del medio ambiente. (1997). Política nacional de producción más limpia. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Politicas/polit_produccion_mas_limpia.pdf

Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Sostenible. (2010). Política nacional de producción y consumo sostenible. Bogotá D.C. Páginas 71.

López, M. (2018). El primer Observatorio de Economía Circular en Latinoamérica. Obtenido de https://www.nuevamujer.com/lifestyle/2018/03/09/el-primer-observatorio-de-economia-circular-en-latinoamerica.html

Prieto, V. , Jaca, C. & Ormanzabal. M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación.Memoria Investigaciones en Ingeniería. Vol (15). pp (85 - 95). Obtenido en http://www.um.edu.uy/docs/Economia_Circular.pdf

Raffino, E. (2019). Concepto base de datos. Obtenido de https://concepto.de/base-de-datos/#ixzz6D6mw2NrN

Stahel, W. R., "Circular Economy," Nature, pp. 6–9, 2016. http://www.um.edu.uy/docs/Economia_Circular.pdf

Ucha, F. (2010). Definición de Restaurar. Obteido de https://www.definicionabc.com/general/restaurar.php

ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE AUTODIAGNÓSTICO EN ECONOMÍA CIRCULAR PARA TODO TIPO DE INDUSTRIAS EN COLOMBIA A TRAVÉS DEL METABOLISMO MATERIAL.

Maicol Fabian Nieto Ostios[1*], Emma Yubely Romero Ayala[2], Beatriz Elena Ortiz[3]

[1]Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle.
[2]Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle.
[3]Docente Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle.
*Cundinamarca, Universidad de La Salle, Calle 3, 15-08 - San Pablo, Zipaquirá, Cundinamarca. 250252. Colombia. mnieto96@unisalle.edu.co

Abstract

The purpose of this project is to prepare a self-diagnostic guide for all those Colombian companies that are interested in starting a process of transformation of their current model, towards a more circular model, this will be done through theoretical research and work practical gathering all the necessary information about the application of material metabolism for the evaluation of industrial processes, in order to identify new opportunities and business models; Finally, the guide will be applied in three different companies to verify its effectiveness (a small, a medium and a large company) in the country, this will allow a significant advance for Colombia on the road to a change in the trend of linear economy by a circular one .

KeyWords: Circular economy, material flow analysis, material metabolism, industrial processes.

ELABORACIÓN DE LA GUÍA DE AUTODIAGNÓSTICO EN ECONOMÍA CIRCULAR PARA TODO TIPO DE EMPRESAS EN COLOMBIA, A TRAVÉS DEL METABOLISMO MATERIAL.

Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad la elaboración de una guía de autodiagnóstico para toda aquella empresa Colombiana que se encuentre interesada en iniciar un proceso de transformación de su modelo actual, hacia un modelo más circular, esto se realizará por medio de una investigación teórica y trabajo práctico recopilando toda la información necesaria acerca de la aplicación del metabolismo material para la evaluación de procesos industriales, con el fin de identificar nuevas oportunidades y modelos de negocio; finalmente

la guía será aplicada en tres empresas diferentes para comprobar su efectividad (Una pequeña, una mediana y una grande empresa) en el país, esto permitirá un avance significativo para Colombia en el camino hacia un cambio en la tendencia de economía lineal por uno circular.

Palabras clave: Análisis de flujo de materiales, economía circular, metabolismo material, procesos industriales.

Introducción

El modelo de economía circular ha venido aumentando de popularidad durante los últimos años, iniciativa a la cual varios países alrededor del mundo se han ido sumando, Colombia se encuentra dentro de ellos, sin embargo, la velocidad a la que lo ha hecho representa un posible obstáculo para que esa transición se dé cuanto antes (Foro de Economía Circular: Retos y Oportunidades, 2019) , desde la academia, se ha querido aportar a que este panorama cambie, y uno de los principales problemas percibidos es la falta de información disponible para las empresas (especialmente pequeñas y medianas) que desean incursionar en este nuevo modelo, razón por la cual, en el presente proyecto, se analiza una de las herramientas más usadas en la economía circular, como lo es el metabolismo material y su utilidad para lograr esa transformación.

La economía circular está directamente relacionada con el metabolismo de los materiales debido a que su concepto se basa en la sostenibilidad, se debe conocer todos los recursos que se están empleando en esa cadena de elaboración de diferentes productos y servicios consumidos en masa día tras día a nivel mundial para así estudiar y conocer las oportunidades que se están desaprovechando, eliminar la carga de residuos que se están generando y aportar a cumplir con la tarea de cambiar el modelo económico actual. Ésta (la economía circular) se enfoca en 3 principios, primero preservar y aumentar el capital natural, controlando el flujo de los recursos por medio de nuevas tecnologías y condiciones sobre el ambiente, la segunda se trata de optimizar el rendimiento de los recursos, circulando siempre productos, componentes y materiales en su nivel más alto de utilidad por medio de ciclos biológicos y tecnológicos; y por último promoviendo la efectividad del sistema haciendo patentes y proyectándose, esto será para reducir el daño causado a sistemas u personas, pero también para gestionar externalidades como la contaminación. (Cerdá y Khalilova. s.f) Este tipo de economía se ha hecho más visible o ha entrado con más fuerza en la actualidad, ya que se trata de una transición hacia una economía sostenible, en la cual se pretende dejar de lado el solo producir, usar y desechar, si no que va más allá, desde su producción hasta su disposición, en donde se enfatiza en el tipo de materiales, en esto entra el flujo de los materiales y el metabolismo de los mismos, además de cómo se tendrá en cuenta la transición por la cual están pasando las grandes ciudades y en cómo las mismas influencian a las pequeñas, para incluir y dar a conocer esta economía circular, con la cual se introducen cambios en los productos y de igual manera

los modelos del mercado, esto también se verá reflejado en el tipo de consumidores que en sí son los encargados de impulsarla.

El metabolismo de materiales es un concepto relativamente nuevo en la Ingeniería, o simplemente es una nueva forma de referirse a lo que popularmente se conocía como Balance de materia y energía, proceso que involucra un Análisis de flujo de materiales. Un análisis de flujo de materiales es una reconstrucción sistemática de la manera que un elemento químico, un compuesto o un material participa en un ciclo natural y/o económico, generalmente está basado en el principio del balance físico. (Comisión del Parlamento Alemán, 1993). Un material puede ser un elemento químico, una mercancía, un compuesto químico, algo reconocible a nuestros sentidos, detrás de cada uno de esos materiales existe un proceso para su fabricación que involucra el uso de recursos y energía, todas las industrias se interesan en investigar formas más efectivas de realizar los procesos para la elaboración de su producto, bien o servicio, este tipo de análisis es entonces una herramienta útil no solo para generar bien económico, sino para identificar factores que permitan minimizar el impacto ambiental. Como una herramienta, el análisis de flujo de materiales es aplicable en distintas áreas de interés, de ahí la importancia de ser concisa y sencilla de entender, por ello, se relaciona el análisis con expresiones gráficas que han venido siendo utilizadas para interpretar el proceso al que está siendo sometido algún material, el más común ha sido el diagrama de flujo, dado su sencillez y gran utilidad representando el flujo de materiales y las secuencias en el proceso, cabe resaltar la importancia de la interpretación de los resultados, los cuales deben ser comprensibles al grupo que se destina.

Según el Manual de Producción más Limpia, elaborado por la Organización de las Naciones Unidas, los pasos para su elaboración se comprenden de la siguiente manera: 1. Definir el alcance y objetivo del análisis y parámetros que serán monitoreados. 2. Definir el alcance del balance 3. Definir el límite de tiempo del balance 4. Listar y nominalizar la secuencia del proceso. 5. Diseñar el diagrama de flujo: Flujo de materiales - aproximación cualitativa. 6. Balances: Flujo de materiales - aproximación cuantitativa. 7. Interpretación de resultados y conclusiones. En el modelo de economía circular se busca constantemente nuevos modelos de negocio que permitan cambiar la tendencia actual de una economía lineal, las empresas que aplican el análisis de flujo de materiales pueden interpretar esos resultados y analizarlos de tal manera que al minimizar la generación de residuos terminen siendo utilizados como materia prima para algún otro proceso, o del mismo, si es el caso. Sin embargo, este modelo no solo ha sido útil para las industrias, sino también para las naciones, esto se ve reflejado en los estudios que se han realizado sobre metabolismo urbano, que brinda una visión del proceso en una ciudad. En Colombia poco se conoce sobre el metabolismo de materiales, si bien es cierto que las empresas han realizado en muchos casos el análisis de flujo de materiales para identificar nuevas formas de generar ahorro en todo el proceso, poco se hace con la finalidad de apuntar hacia un nuevo tipo de modelo, en este caso, la economía circular. En España, por ejemplo, esa transición de las empresas se ve facilitada por la disposición de herramientas como lo es la guía para el desarrollo de autodiagnósticos en Economía circular en la Industria Navarra, elaborado por la Cámara navarra de Comercio e Industria, consiste en que son las mismas empresas

industriales quienes aplican la guía para identificar oportunidades de mejora, aumentar su competitividad y desarrollar nuevos modelos de negocio (León, C. 2019).

El estudiar la utilidad del metabolismo de materiales como herramienta es adecuado para brindarle a las empresas mayores facilidades que las motiven a realizar un cambio en sus modelos económicos y ajustarse a las nuevas demandas de los consumidores y tendencias globales, de igual manera, conocer el contexto del país acerca de la economía circular permite a las empresas alinearse con las intenciones del estado y disminuir la brecha entre el sector público y privado. Por último, la elaboración de la guía de autodiagnóstico en Economía circular en el contexto colombiano permitirá no solo aumentar la velocidad a la que el país de está moviendo, sino que beneficiará a todas las empresas, especialmente a las conocidas PYMEs, las cuales representan un sector bastante grande en el país (109 mil Pymes y 1.5M de microempresas) según cifras de las Cámaras de comercio y Confecámaras. (Economía Aplicada, 2019).

El Objetivo general del trabajo es Crear la guía de autodiagnóstico en Economía Circular para las pequeñas, medianas y grandes empresas en Colombia, los objetivos específicos, explicar la relación entre metabolismo material y economía circular, analizar el contexto de Colombia sobre metabolismo material y dar a conocer oportunidades y nuevos modelos de negocio para las empresas.

Metodología

La metodología a usar será de carácter exploratoria, se explicará la relación entre el metabolismo material y la economía circular, obteniendo resultados cualitativos, a través de la investigación de textos, artículos, investigaciones, entre otros, que abarquen el tema y nos permita dar una explicación más aterrizada de la relación existente entre estas dos variables. Se analizará el contexto de Colombia sobre metabolismo de materiales por medio del estudio de experiencias en la aplicación de esta metodología para varios procesos industriales pero que no han tenido como propósito acercarse hacia el concepto de economía circular, se explicará la metodología más utilizada, los productos de las industrias más estudiados y los resultados obtenidos a partir de ese proceso, generando resultados cuantitativos y cualitativos. Por último, con la creación de la guía de autodiagnóstico en Economía Circular dirigida a las empresas en Colombia, de sencilla comprensión, se identificarán nuevas oportunidades y modelos de negocio a partir del análisis y los resultados obtenidos en toda la aplicación de la guía, y como ejemplo se aplicará en al menos tres empresas (una pequeña, una mediana y una grande) para comprobar su aplicabilidad.

Resultados

Al ser un trabajo en desarrollo, se obtienen avances periódicos, comprendidos en tiempos de un mes por objetivo específico, teniendo como resultado final la guía física finalizada al momento del evento en el mes de Mayo.

Referencias bibliográficas.

Brunner, P.H. & Rechberger, H. (2004). Practical Handbook of material flow analysis. NY, USA: Lewis Publishers. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/1492/149240051014.pdf

Cerdá y Khalilova. (s.f). Economía Circular, estrategia y competitividad empresarial. Recuperado de: https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf

Comisión del parlamento alemán. (1993). Protección del hombre y su medio ambiente. Recuperado de: https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/3-Questions_0.pdf

Economía Aplicada. (2019). 2019 ¿Cuántas empresas hay en Colombia? Recuperado de: http://economiaaplicada.co/index.php/10-noticias/1493-2019-cuantas-empresas-hay-en-colombia

Economía Circular Navarra. (2018). Agenda para el desarrollo de la EconomíaCircular en Navarra. Recuperado de: https://gobiernoabierto.navarra.es/sites/default/files/resumenagendaecna121218.pdf

Londoño, R. (s.f). Balances de masa y energía. Recuperado de: http://blog.utp.edu.co/balances/files/2015/02/LIBRO-BME2015-1.pdf

Macarthur, E. (2017). Cities in the circular economy: an initial exploration. Recuperado de:https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Cities-in-the-CE_An-Initial-Exploration.pdf

Monsalvo, Miranda, Romero y Muñoz. (2014). Balances de materia y energia. Procesos industriales. Recuperado de: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=afLhBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=que+es+el+balance+de+materia+y+energia&ots=_9ZZgwIFRg&sig=ETqBaEiybTC2GtZWKAfnWAFYiC8#v=onepage&q&f=false

Murillo, M., Cabrera, A., Rodríguez, M., González, P., Sacristán, P., Rodríguez, C., Bejarano, L., Ortiz, B., Erazo, M. (Noviembre, 2019). Foro de Economía Circular: Retos y Oportunidades, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Nunes, P. (2018). Economía Lineal. Recuperado de: https://knoow.net/es/cieeconcom/economia-es/economia-lineal

SAGARPA. (s.f). Guía del autodiagnóstico para organizaciones económicas. Recuperado de: https://docplayer.es/41735458-Guia-del-autodiagnostico-para-organizaciones-economicas.html

ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DE LOS EVENTOS DE TORMENTAS ELÉCTRICAS Y GRANIZADAS QUE AFECTARON LA CIUDAD DE BOGOTÁ ENTRE 1960 Y 2018

Laura. T. Albarracín Rativá[1], María. A. Bernal Pinzón[2], Víctor. L. López Jiménez[3] *

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle

*Víctor Leonardo López Jiménez – Cr. 2 No 10-70, Bogotá. Email: vlopez@unisalle.edu.co

Temporal space analysis of the events of thunderstorms and hailstorms that affected the city of Bogotá between 1960 and 2018

Abstract

This research was created to contribute to the analysis of the frequency of thunderstorms and hailstorms in and to provide information that contributes to risk management in the city. These phenomena are associated with different groups of affectations whose frequency is closely related to the behavior of precipitation in the capital. To support this research, it was necessary to consolidate the database on Electrical Storms and Hailstorms of Bogotá (TGBO). Afterward, the temporal distribution was carried out, relating precipitation with each of the phenomena studied, making the decadal analysis and identifying their relationship with the occurrence of ENSO events. The generalities of the risk scenarios were raised based on the analysis of the consolidated information in TGBO, which was also used to establish the spatial distribution based on the location data of the impacts reported in the different sections of Bogota. As a conclusion of this research, comparative graphs of the events studied, and distribution maps of storms and hailstorms were made. It was determined that in the events with hail greater impacts are caused than during the occurrence of thunderstorms, despite being the latter are the ones that present a greater frequency. It could also be concluded that the systems at the greatest risk are the electricity grid, the sewerage system, and the road network. Furthermore, it was found that Chapinero, Usaquén, Fontibón, Suba and Barrios Unidos are the sections with the greatest number of damages due to the happening of these events.

KeyWords: risk management, risk scenarios, hailstorms, thunderstorms

Análisis espacio temporal de los eventos de tormentas eléctricas y granizadas que afectaron la ciudad de Bogotá entre 1960 y 2018

Resumen

Esta investigación fue creada como contribución al análisis de la ocurrencia de tormentas eléctricas y granizadas en Bogotá y para proporcionar información que contribuya a la gestión de riesgos en la ciudad. Estos fenómenos están asociados con diferentes grupos de afectaciones cuya frecuencia está estrechamente relacionada con el comportamiento de la precipitación en la capital. Para dar soporte a la investigación, fue necesario consolidar la base de datos sobre Tormentas Eléctricas y Granizadas en Bogotá (TGBO). Posteriormente, se realizó la distribución temporal, relacionando la precipitación con cada uno de los fenómenos estudiados, realizando el análisis decadal e identificando su relación con la ocurrencia de eventos ENOS. Las generalidades de los escenarios de riesgo se plantearon en base al análisis de la información consolidada en TGBO, que también se utilizó para establecer la distribución espacial en función de los datos de ubicación de los impactos reportados en las diferentes localidades de Bogotá. Como conclusión de esta investigación, se realizaron gráficos comparativos de los eventos estudiados y mapas de afectaciones de tormentas y granizadas. Se determinó que en los eventos con granizo producen mayores impactos que durante la ocurrencia de tormentas eléctricas, a pesar de ser estas últimas las que presentan mayor frecuencia. También se concluyó que los sistemas con mayor riesgo son la red eléctrica, el sistema de alcantarillado y la red vial. Además, se encontró que Chapinero, Usaquén, Fontibón, Suba y Barrios Unidos son las localidades con mayor número de afectaciones reportadas debido a la ocurrencia de estos eventos.

Palabras clave: gestión del riesgo, escenarios de riesgo, granizadas, tormentas eléctricas

Introducción

La ciudad de Bogotá, año tras año, se enfrenta a los efectos adversos producidos por la ocurrencia de eventos de origen meteorológico como las tormentas eléctricas y las granizadas. La frecuencia de estos fenómenos está estrechamente relacionada con el régimen bimodal de las lluvias que se presentan sobre la ciudad, el cual está relacionado con la localización geográfica y la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que en su recorrido ocupa dos veces al año el centro del territorio nacional, entre finales de marzo y comienzos de junio y, desde finales de septiembre hasta los primeros días de diciembre. De acuerdo con lo expuesto por Gaviria, 2000, el número de tormentas eléctricas aumenta en Bogotá debido a la convección durante periodos de alta radiación y es reforzada en algunos casos por el efecto orográfico; y de acuerdo con los estudios de Torres y Castaño, 1991, el mayor número de días con tormentas eléctricas en la Sabana de Bogotá ocurren durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, alcanzando en promedio el 25,9% de los días del año.

En 2016, el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo (IDIGER) afirmó que la mayoría de los desastres que se han presentado a nivel nacional y mundial en las últimas décadas, han estado relacionados con eventos extremos del clima, que en muchos casos son atribuibles a la variabilidad climática o al cambio climático. Los mecanismos institucionales y programáticos entre el tema del riesgo, variabilidad climática y cambio climático deben incorporarse a los procesos de planificación del desarrollo y a las inversiones públicas, como lo sugiere el Banco Mundial en Colombia, 2012. La ocurrencia de tormentas eléctricas y granizadas está asociada con diferentes impactos en la ciudad, entre los que se pueden mencionar: el sistema de alcantarillado, el sistema de suministro de energía, daños materiales y cierres del aeropuerto internacional El Dorado; estos eventos pueden, además, dejar heridos y/o muertos en algunos casos.

Con el objeto de analizar los escenarios de riesgo relacionados con la ocurrencia de tormentas y granizadas en la ciudad, se llevó a cabo el análisis espacio-temporal de estos fenómenos, tomando como referencia el periodo 1960-2018. En razón a la poca información disponible sobre la frecuencia, distribución espacial y efectos relacionados con estos eventos, se hizo necesaria la consolidación de la base de datos sobre tormentas eléctricas y granizadas en la ciudad de Bogotá (TGBO), a partir de la información sinóptica producida en el aeropuerto El Dorado y las bases de datos del Instituto Distrital de Gestión del Riesgo (DIGER) y de la Universidad de La Salle (SIDHMA).

Los resultados del estudio se resumen en: la distribución temporal (mensual multianual y decadal) de los eventos; el análisis comparativo entre las tormentas eléctricas, las granizadas y la actividad de la ZCIT; el comportamiento de las tormentas y las granizadas en periodos en los que se presenta el ENOS y, la distribución espacial de estos fenómenos, utilizando las herramientas de ArcGIS (ArcMap y Story Maps) y tomando como referencia las 20 localidades de la ciudad. Finalmente, y como uno de los objetivos principales del estudio se identifican y evalúan los distintos escenarios de riesgo que se pueden configurar con la ocurrencia de las tormentas eléctricas y las granizadas.

Metodología para el análisis de tormentas eléctricas y granizadas

El primer paso fue la consolidación de la base de datos de Tormentas eléctricas y Granizadas para Bogotá (TGBO), a partir de la información disponible en la plataforma virtual de la Hemeroteca de Emergencias de Bogotá y de los registros de la base de datos del Sistema de Información sobre Desastres, Hidrometeorología y Medio Ambiente (SIDHMA) de la Universidad de La Salle. Paralelamente, se revisaron los informes y plataformas de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), la Organización de Aeronáutica Civil Internacional (OACI) y el IDEAM; se llevó a cabo la decodificación de los mensajes sinópticos aeronáuticos del aeropuerto El Dorado, con el fin de completar y verificar la ocurrencia (frecuencia) de las tormentas eléctricas y granizadas. Es importante mencionar que el análisis incluye consideraciones relacionadas con el comportamiento atmosférico y las condiciones físico-geográficas del territorio

Para el análisis de frecuencia de las tormentas eléctricas los datos fueron tomados de los mensajes sinópticos (torre de meteorología) del Aeropuerto Internacional el Dorado y su espacialización se realizó a partir de la información sobre afectaciones disponible en la TGBO. De otro lado, tanto la ocurrencia (frecuencia), como la distribución espacial de los eventos de granizada se realizó a partir de los datos (consolidado de informes periodísticos en su mayoría) disponibles en la TGBO.

Resultados

El trabajo de investigación permitió establecer que, en el año 1992 se presentó el mayor número de días con tormentas eléctricas (162), este año coincide con la presencia el fenómeno de El Niño (junio de 1991 a julio de 1992) en su fase final; el sobrecalentamiento superficial y el arrastre de humedad desde la cuenca del Magdalena en los primeros meses y, la posición de la ZCIT entre abril y junio explican la formación de nubes convectivas en un periodo Niño, históricamente seco. Por otra parte, el valor máximo de días con impactos por granizadas (16), fue registrado durante 2008, año en el cual se presentó el fenómeno La Niña (agosto de 2007 a junio de 2008) con actividad convectiva importante de la ZCIT en los meses de abril y mayo. En la figura 1 se presenta el análisis comparativo de la distribución porcentual de eventos de tormentas y granizadas entre 1960 y 2018.

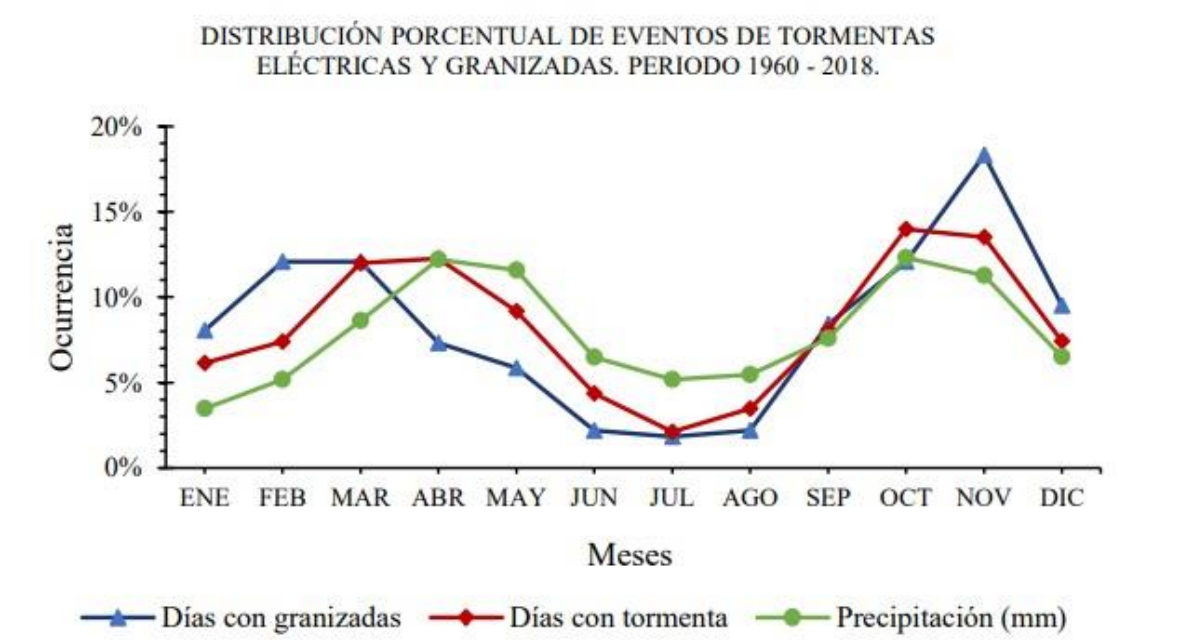


Figura 1. Distribución porcentual de los eventos de tormentas eléctricas (Serie 1974 – 2018), granizadas (Serie 1960 – 2018) y precipitación (Serie 1972 – 2018). **Fuente**: elaboración propia.

La figura muestra que existe estrecha relación la tormentas, las granizadas y el régimen bimodal de las lluvias en Bogotá, lo que depende de condiciones físicas de la atmósfera

como: el sobrecalentamiento superficial en momentos de escasa nubosidad e ingreso de humedad por advección; la presencia y actividad de la ZCIT y en ocasiones de las ondas tropicales del este; sistemas como las depresiones y las formaciones ciclónicas explican, en algunos casos, la ocurrencia de fuertes lluvias en el periodo seco de mitad de año en el centro del país.

Escenarios de riesgo relacionados con la ocurrencia de tormentas eléctricas y granizadas

Haciendo uso de la información disponible en la base de datos consolidada - TGBO, se identificaron la frecuencia y la distribución espacial de las afectaciones por tormenta eléctrica y granizadas en 19 de las 20 localidades de Bogotá, es oportuno anotar que no se dispone de ningún tipo de registros sobre Sumapaz.

Para determinar los escenarios de riesgo se tuvieron en cuenta afectaciones (impactos relacionados con la vulnerabilidad que presenta la ciudad frente a estos eventos) como: daños en estructuras e infraestructura, daños y pérdidas materiales, pérdidas económicas y efectos sobre la salud de la población. Una vez analizadas las posibles consecuencias, se determinaron tres grandes categorías de impactos considerando que estas, por sus características, enmarcan el origen de los diferentes escenarios: Impactos en la red de suministro de energía (vinculado con las tormentas eléctricas), impacto en la red de alcantarillado (vinculado con las granizadas), impacto en estructuras e infraestructura e impactos sobre la salud de la población.

El análisis permite afirmar que el número de impactos relacionados con la ocurrencia de granizadas de acuerdo con los datos disponibles en la base TGBO) es mayor que el asociado a los reportes sobre afectaciones producto de las tormentas eléctricas, debido a que los efectos de las granizadas son más diversos que los de las tormentas, lo que hace que el número de noticias sea mucho mayor, esto ocurre debido a la naturaleza del granizo: su estado sólido, su acumulación y la velocidad y fuerza con la que cae. A continuación, en la figura 2, se representan los porcentajes correspondientes a las categorías de impactos que dan origen a los escenarios de riesgo relacionados con la ocurrencia de tormentas eléctricas.

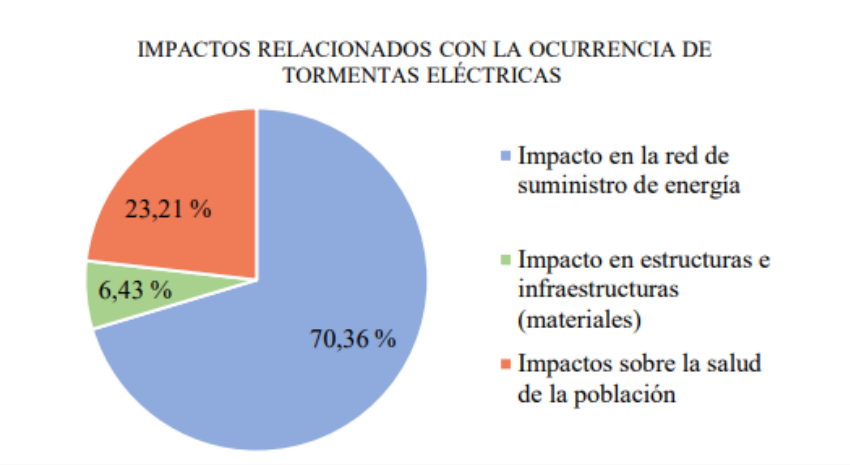


Figura 2. Distribución porcentual de impactos por tormentas eléctricas asociados a los escenarios de riesgo en Bogotá. Periodo 1960 – 2018. **Fuente**: elaboración propia.

Se observa que el mayor nivel de afectación por la ocurrencia *de tormentas eléctricas* está relacionado con la red de suministro eléctrico (el 70,36% del total de impactos atribuidos al fenómeno). El sistema más afectado fue el de las comunicaciones, con 57 casos reportados, seguido por los sistemas domésticos con 49 y los de control de tránsito (semáforos) con 46. En la categoría correspondiente a los impactos sobre la salud humana los registros muestran 37 lesionados y 28 muertos en el periodo de estudio. La categoría que comprende los daños en estructuras e infraestructuras (materiales) se considera importante teniendo en cuenta que en esta categoría se incluyen las afectaciones a la operación aeroportuaria (El Dorado, Guaymaral, CATAM).

En la figura 3, se representan los porcentajes correspondientes a las categorías de impactos que dan origen a los escenarios de riesgo relacionados con la *ocurrencia de granizadas.*

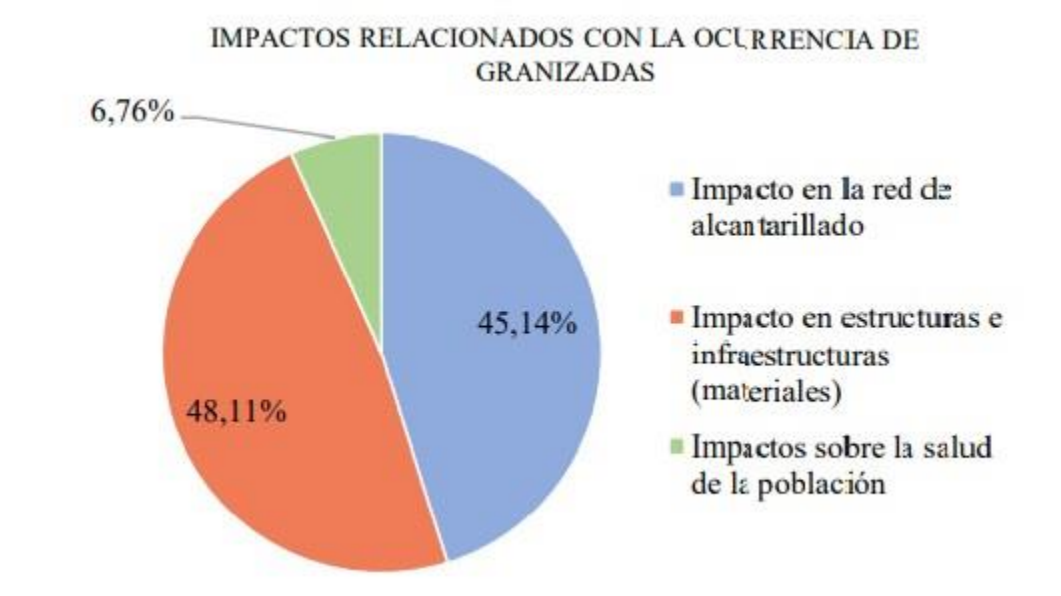


Figura 3. Distribución porcentual de impactos por granizadas asociados a los escenarios de riesgo en Bogotá. Periodo 1960 – 2018. **Fuente:** elaboración propia.

La figura muestra que las afectaciones reportadas con mayor frecuencia por la *ocurrencia de granizadas,* teniendo en cuenta las categorías establecidas, tienen que ver con el impacto sobre estructuras e infraestructura (daños materiales) con un 48,11%. En esta categoría, los impactos en la red de alcantarillado corresponden al 45,14% de los casos; los sistemas o elementos en riesgo con mayor número de afectaciones (167) son las vías, el alcantarillado y la red de servicios.

Distribución espacial de los escenarios de riesgo

Una vez identificados y analizados los escenarios de riego se realizó el análisis sobre la distribución espacial en las localidades de Bogotá, esto se logró gracias a la consulta tanto de la hemeroteca de emergencias del IDIGER y la base de datos SIDHMA, como de los reportes periodísticos consultados en la biblioteca Luis Ángel Arango, toda esta información consolidada en la base de datos TGBO.

Aunque el número de días de ocurrencia de tormentas eléctricas (frecuencia), responde a la información decodificada de los reportes aeronáuticos, la distribución espacial no es posible realizarla con exactitud, debido a que no existe información que permita ubicar la posición de la tormenta en desarrollo. La distribución espacial se realizó entonces, para ambos eventos (tormentas eléctricas y granizadas), considerando los impactos que estos fenómenos ocasionaron en sectores de la capital y que fueron reportados en los medios periodísticos.

En la figura 4 se presenta la información relacionada con el número de casos reportados, considerando el tipo de impactos asociados a la ocurrencia de las tormentas eléctricas., sobre las diferentes localidades de Bogotá en el periodo 1960-2018.

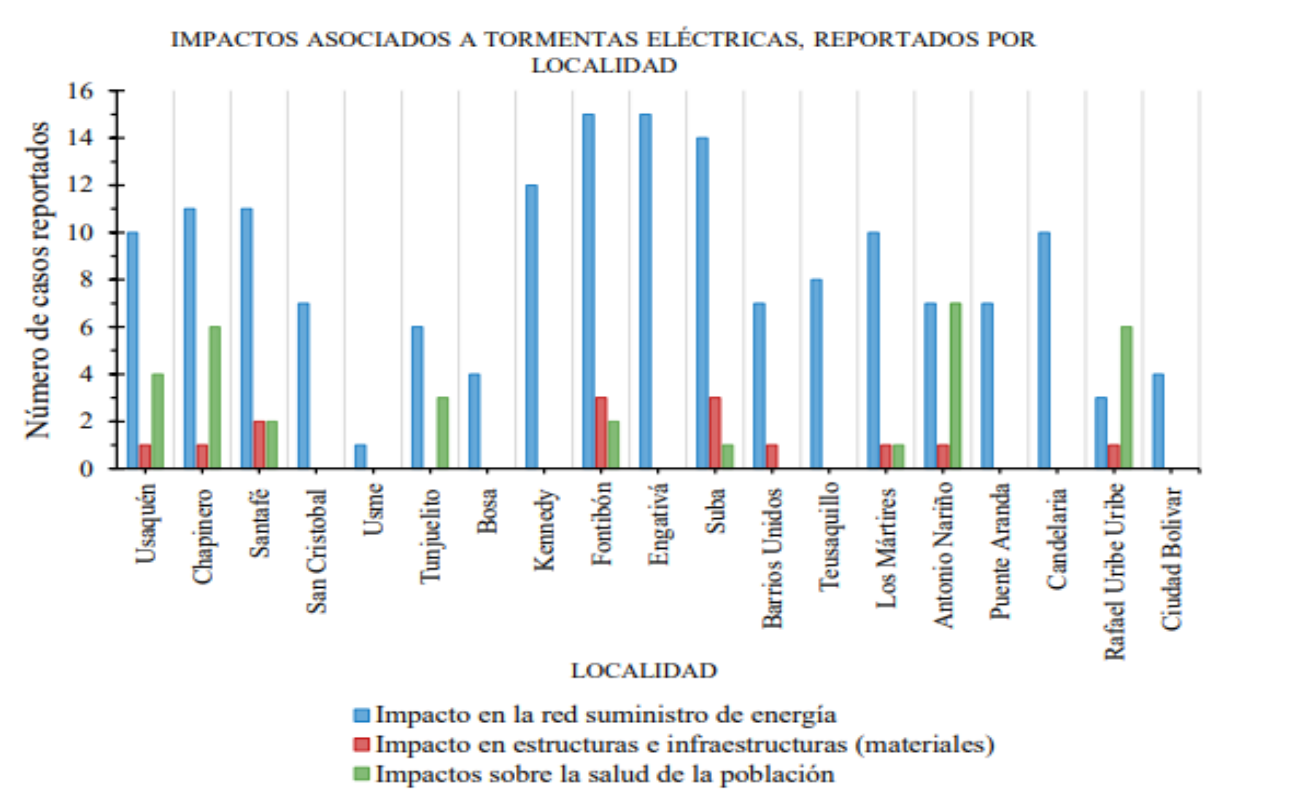


Figura 4. Impactos por localidad a causa de la ocurrencia de tormentas eléctricas. Periodo 1960 – 2018. **Fuente:** elaboración propia

El análisis sobre la distribución espacial de los eventos de tormenta, asociado a sus efectos, evidencian que, aunque los reportes sinópticos muestran que es el Noreste de la capital el cuadrante donde son observados la mayor parte de estos fenómenos, la información periodística sobre afectaciones producto de la ocurrencia del fenómeno (datos de la TGBO) deja ver un mayor número de casos en las localidades de Suba, Fontibón y Chapinero, esto tiene que ver, muy probablemente, con el fenómeno de inundación asociado a las tormentas. (anexo5. Mapa de distribución espacial de afectaciones por ocurrencia de tormentas eléctricas en Bogotá).

A continuación, en la figura 5 se presenta el número de afectaciones (casos reportados) por localidad debido a la ocurrencia de eventos de granizada en Bogotá, en el periodo 1960 – 2018. De acuerdo con la información en TGBO, las localidades más afectadas por la ocurrencia de los eventos de granizada son Usaquén, Chapinero y Barrios Unidos. Como se advirtió en distintos momentos de la investigación, los reportes sobre impactos relacionados con las granizadas (inundaciones y colapso vial en la mayoría de los casos) permiten identificar de mejor manera las localidades afectadas, que en el caso de las tormentas eléctricas.

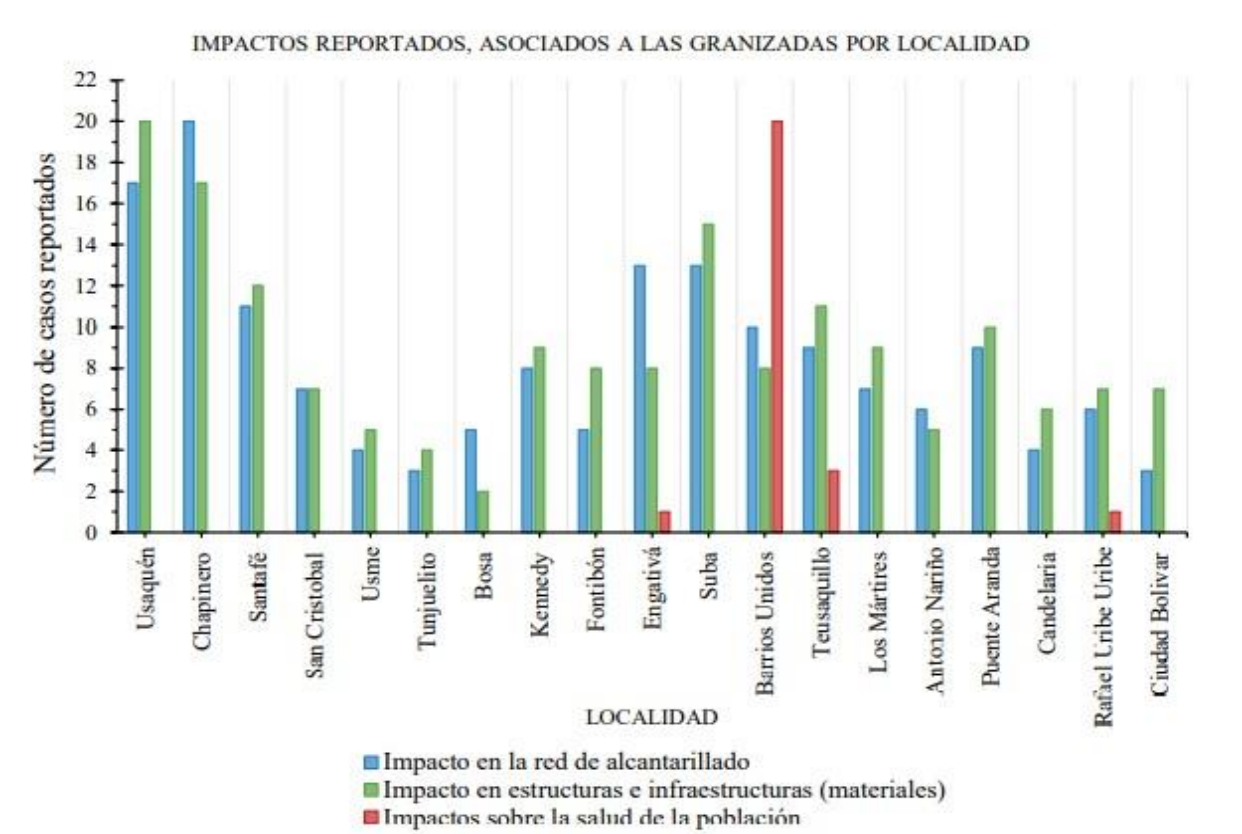


Figura 5. Casos reportados, asociados a los impactos ocasionados por la ocurrencia de granizadas en las localidades de Bogotá, en el periodo 1960-2018. **Fuente:** elaboración propia.

En la figura anterior se observa que en la localidad de Barrios Unidos se presentó el mayor número de casos reportados (38), seguido por los reportados en Usaquén y Chapinero (37 en cada una). Además, se evidencia que Chapinero tiene el mayor número de reportes sobre impactos en la red de alcantarillado (27). En Usaquén se presentó el mayor número de casos de impactos en estructuras (14), en Barrios Unidos se reporta el mayor número de casos de impactos sobre la salud de la población (20 casos). En Fontibón, localidad en la que se ubica el aeropuerto, se registraron 4 casos de cierre de operaciones.

Conclusiones

El análisis espacio temporal de la ocurrencia de tormentas eléctricas y granizadas para la ciudad e Bogotá entre 1960 y 2018 deja ver que, el número de impactos relacionados con la ocurrencia de granizadas (disponible en la base de datos TGBO), es mayor que el asociado a los reportes sobre afectaciones producto de las tormentas eléctricas, esto debido a que los efectos de las granizadas son más diversos que los de las tormentas, debido a la naturaleza del granizo, su estado sólido, su acumulación y la velocidad y fuerza con la que cae, lo que genera un mayor número de noticias.

Los resultados sobre las afectaciones más frecuentes por la ocurrencia de tormentas eléctricas están relacionados con el impacto sobre la red de suministro eléctrico, asociadas en su mayoría a las comunicaciones; mientras que por la ocurrencia de granizadas, las afectaciones más frecuentes tienen que ver con la movilidad, los taponamientos en la red de alcantarillados y los impactos sobre estructuras e infraestructura (daños materiales).

Las localidades más afectadas por la ocurrencia de tormentas eléctricas y granizadas son Chapinero, Usaquén, Suba y Barrios Unidos, ubicadas al norte de la capital, siendo el noreste el cuadrante con mayor número de reportes; Fontibón se ve afectado por las inundaciones producto de la escorrentía y la deficiencia del sistema de alcantarillado. Las localidades de Usme y Sumapaz, son las que cuentan menos registros de impactos (menos cobertura periodística) a causa de estos eventos.

Por el contenido mismo del estudio, el análisis de los escenarios de riesgo relacionados con los efectos de las tormentas y granizadas en Bogotá, el proyecto debiera ser considerado como una herramienta a ser tenida en cuenta en la planificación y toma de decisiones orientadas a la gestión del riesgo en la capital.

REFERENCIAS

Banco Mundial Colombia. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas* (Primera ed., Vol. 1). Bogotá, Colombia.

Gaviria, G. D. E. J. M., Antonio, J., & Ramirez, E. (2000). Convectiva De Las Tormentas Electricas En La Saban a De Bogota (*), (562), 24.

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER). (1 de Agosto de 2016). *Historia*. Obtenido de https://www.idiger.gov.co/historia

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER). (1 de Agosto de 2016). Hemeroteca

Distrital de Emergencias. Obtenido de https://app2.sire.gov.co/Hemeroteca/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). *Valores totales mensuales de precipitación - Estación Aeropuerto El Dorado.* Bogotá, Colombia.

Torres, H., & Castaño, O. (1991). *Las series de tiempo en la investigación espacio - temporal sobre descargas eléctricas atmosféricas en Colombia.* Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/15352/1/

Universidad de La Salle. Sistema de Información sobre Desastres, Hidro-meteorología y Medio Ambiente (SIDHMA. Obtenido de http://evirtual.lasalle.edu.co/sidhmaback

COLECTOR SOLAR PLANO CON ALMACENAMIENTO DE CALOR PARA PRODUCIR AIRE CLIENTE

Ciro Espinoza[1], Ciro Espinoza[1*], María Custodio[2], Amanda Romero[3]

[1]Centro de Energías Renovables, Universidad Nacional del Centro del Perú
[2]Centro de Agua para los Andes, Universidad Nacional del Centro del Perú
[3]Centro de Energías Renovables, Universidad Nacional del Centro del Perú
*Autor corresponsal: Centro de Energías Renovables, Universidad Nacional del Centro del Perú, Av. Mariscal Castilla 3909, El Tambo, Huancayo, 12006. Perú. Email: ciroespinoza@uncp.edu.pe

Abstract

The objective of the research is to improve the efficiency of the flat solar collector by including a heat store and using new insulation materials. The method used is the systemic, technological type, experimental level and quasi-experimental design; for which a solar collector prototype was built where the cooling rate of the various components was evaluated. The air from the solar collector, during 9 hours of operation, lost 40 ° C using glass wool as a thermal insulator, lost 31 ° C using the heat store additionally, instead the ambient temperature only experienced a variation of two degrees Celsius in the nine hours.

KeyWords (en negritas): Solar collector, thermal insulator, heat storage, phase change material.

COLECTOR SOLAR PLANO CON ALMACENAMIENTO DE CALOR PARA PRODUCIR AIRE CLIENTE

Resumen

El objetivo de la investigación es mejorar la eficiencia del colector solar plano mediante la inclusión de un almacenador de calor y el uso de nuevos materiales de aislamiento. El método utilizado es el sistémico, de tipo tecnológico, nivel experimental y diseño cuasi experimental; para lo cual se construyó un prototipo de colector solar donde se evaluó la velocidad de enfriamiento de los diversos componentes. El aire del colector solar, durante 9 horas de funcionamiento, perdió 40°C utilizando lana de vidrio como aislante térmico, perdió 31°C utilizando adicionalmente el almacenador de calor, en cambio la temperatura ambiente solo experimentó una variación de dos grados centígrados en las nueve horas.

Palabras clave: Colector solar, aislante térmico, almacenamiento de calor, material de cambio de fase.

Introducción

Los equipos y máquinas de baja eficiencia, generan un Impacto negativo en el cambio climático, debido a que disipan en el medio las pérdidas de energía en forma de calor.

En el Perú, la temperatura en los últimos 50 años ha mostrado una elevación de 0.75ºC en todo el territorio, se proyecta un aumento de 2ºC en las temperaturas promedio anuales sobre el los próximos 50 años (Andersen, Suxo, & Verner, 2009).

La baja eficiencia de los colectores solar, invitan al uso de energía eléctrica o el gas para el calentamiento de aire para diversas aplicaciones, sea en laboratorios o industrias.

Los secadores industriales consumen aproximadamente el 12% de la energía total utilizada en los procesos de fabricación de sus productos, aumentando sus costo de producción del 60 al 70% del costo total (Famiglietti, Lecuona-Neumann, Nogueira, & Rahjoo, 2020).

Desde el año 2006 hasta el año 2016, el consumo de petróleo en el Perú se ha duplicado y el consumo de gas natural se ha cuadruplicado (British Petroleum, 2017).

Tabla 1. Consumo de petróleo y gas natural en el Perú

Año	Petróleo	Gas natural	hidroelectricidad	renovables
2006	6.7	1.8	4.4	0.1
2007	7.0	2.7	4.4	0.1
2008	7.9	3.4	4.3	0.1
2009	8.2	3.5	4.5	0.1
2010	8.7	4.9	4.5	0.2
2011	9.5	5.5	4.9	0.2
2012	9.8	6.2	5	0.2
2013	10.4	6	4.9	0.2
2014	10.3	6.8	4.9	0.3
2015	11.0	7.2	5.4	0.4
2016	11.7	7.9	5.4	0.6

Fuente: British Petroleum, 2017

La teoría que explica la existencia del problema es la transferencia de calor al medio por conducción y convección. La conducción se realiza a través de las paredes de los materiales del colector, tuberías y tanque, y la convección a través del aire y la superficie transparente (Balaji, Iniyan, & Goic, 2018).

El calor se transfiere mediante un mecanismo sub microscópico complejo en el que los átomos interactúan por choques elásticos e inelásticos para propagar la energía deregiones de mayor temperatura a regiones de menor temperatura; la tasa de propagación de calor se puede predecir mediante la ley de Fourier, que incorpora las características mecánicas del proceso en una propiedad física conocida como conductividad térmica (Frank, Manglik, & Bohn, 2012).

El uso materiales con superficies de baja radiación y estructuras porosas reduce la radiación, la convección y la conducción de sólidos, pero debido al tamaño de los poros y el material poroso abierto, la conducción térmica gaseosa se limita a la conductividad del aire (Notario et al., 2015). El efecto Knudsen consiste en reducir el tamaño de poro en el material al rango nano con la finalidad de reducir efectivamente la conductividad térmica; se logra el efecto cuando los poros tienen una dimensión comparable o más pequeña que la trayectoria libre media de las moléculas de gas dentro de los poros (Gangåssætera, Jelleab, Mofida, & Gaoa, 2017).
Se han realizado muchas investigaciones para mejorar la eficiencia de colectores solares. Osorio y otros (2017) concluyen que la eficiencia de Colectores de Placas Planas, Colectores de Canales Parabólicos y Colectores Centrales se reduce drásticamente a altas temperaturas debido al incremento en las pérdidas de calor, la incorporación de Materiales de Aislamiento Transparente permite mejorar su eficiencia a través de un estudio de las propiedades como la emitancia, la conductividad térmica, el coeficiente de extinción y el grosor.

Balaji y otros (2018) buscan aumentar el coeficiente de transferencia de calor por convección con una caída de presión mínima, mientras se mejora el área efectiva de transferencia de calor entre el fluido absorbente y la superficie con la que está en contacto.

Nadir y otros (2019) presentan como material aislante térmico de un calentador solar de aire, con material vegetal como la madera de palma datilera, en el estudio se centra en el rendimiento térmico comparativo de este colector y compara con un colector idéntico en diseño, fabricación y funcionamiento en las mismas condiciones, utilizando lana de vidrio como aislamiento térmico.

Dos nuevos tipos de material para aislamiento transparente son fabricados de polipropileno y acetato de celulosa, los que generan un mejor aislante con menor espesor que los Aerogeles que se vienen utilizando en la última década, contribuyendo con proporcionar geometrías diversas y ahorro de energía (Paneri, Wong, & Burek, 2019).

En un estudio sobre el rendimiento térmico de un calentador de aire aislado con peciolo más yeso y otro colector idéntico en diseño, fabricación y funcionamiento en las mismas condiciones, aislado con lana de vidrio; mostraron que las eficiencias térmicas del recolector aislado con peciolo de palma datilera más yeso fueron un 37,7% más altas que el recolector aislado de lana de vidrio (Nadir et al., 2019).

Metodología de investigación

En esta investigación se utilizó el método sistémico, porque se estudió la terma solar como un todo y relacionando sus elementos para determinar la función negativa que es el problema que se resolvió. El tipo de investigación que se desarrolló fue la investigación tecnológica, porque se aplicó conocimientos sobre concentración solar para producir agua caliente. El nivel de investigación fue la investigación experimental, porque se probó distintos materiales aislantes para determinar cuál es el óptimo.

El objetivo del método sistémico es estudiar el objeto a través de sus elementos, relaciones y límites para observar su estructura y funcionamiento; el nivel tecnológico permite realizar experimentos manipulando variables que se desean optimizar (Espinoza, 2014).

Las actividades realizadas durante la investigación fueron: búsqueda de información de artículos científicos y patentes relacionados con sistemas térmicos de calentamiento de agua y aislantes térmicos, selección de una patente relacionada que brinda oportunidades de mejora para construir un primer prototipo para realizar un pre experimento, diseño conceptual para construir un prototipo experimental a fin de evaluar los factores que expresa las funciones positivas o negativas del colector solar.

Etapa 1: búsqueda de patentes.

La búsqueda de información inicial se realizó con el software Carrot2, y la de artículos científicos se realizó prioritariamente con el buscador de ScienceDirect. La búsqueda de patente se realizó con Patent Inspiration, y luego con Espacenet para obtener las patentes en formato pdf. Las palabras claves utilizadas en inglés fueron: solar collector, latent heat storage, thermal insulator, heat air.

Etapa 2: pre-experimento

Se identificó los aislantes térmicos a utilizar en la terma solar, el material de cambio de fase y se realizó un pre prueba de aislamiento, otro con las capsulas de almacenamiento de calor en un prototipo a nivel de laboratorio.

Etapa 3: diseño conceptual y experimento

Se realizó el diseño conceptual a partir de la caja negra, análisis y definición de funciones de cada componente, síntesis de funciones y caja blanca. Con estos elementos seconstruyó un prototipo para realizar la medición de la temperatura del aire dentro de la cámara, primero solo con el aislante térmico y luego adicionalmente con el almacenador decalor.

Etapa 4: Medición e instrumentos utilizados

La medición de la variación de la temperatura interna se realizó con un termómetro digital por infrarrojos con láser, en grados centígrados, cuyo rango es de -50ºC a 380ºC y resolución de 0.1°C. El control de la temperatura ambiental se realizó con un termómetro anemómetro, Kestrel cuya resolución de 0.1°C y rango de -29 a 70°C

Resultados de la investigación

Una patente que se aproxima a la que se desea evaluar corresponde a un Sistema de colectores solares planos que se puede mejorar a partir de cambiar los aislantes térmicos. Esta invención se refiere a un sistema de colectores solares planos, por cuyo interior circula un fluido térmico y que están dispuestos en series de al menos un colector en un campo de colectores solares planos, el cual está a su vez enserie con una instalación de calefacción o agua caliente sanitaria, particularmente, aunque no exclusivamente, de tipo doméstico o residencial (Patent No. ES 2398842B1, 2010).

Para el pre experimento se considera un sistema de cápsulas de almacenamiento de calor, construido con tubos que en su interior contiene parafina como material de cambio de fase. El receptor de forma cilíndrica logra el menor tiempo de fusión de PCM en comparación con otras formas, la relación de aspecto juega un papel importante en el tiempo de fusión de la cera de parafina; la variación experimental de la temperatura de la parafina, cuya densidad es de 900 kg/m3 y calor latente de fusión de 200 kJ/kg °C., fue en promedio de 30°C a 90°C. (Mahto et al., 2018)

La lana de vidrio tiene buenas propiedades de aislación térmica y aislamiento acústico, además de ser calificado como material incombustible; la función de la lana de vidrio aplicada como aislante térmico, es la de evitar pérdidas o ganancias de temperatura a través los lados para mantener en el interior del ambiente con baja variación de temperatura (Duffie y Beckman, 2013).

La lana de roca, es un material fabricado a partir de la roca volcánica, utilizado como aislante térmico y como protección contra el fuego en edificios (Gangåssætera et al., 2017).

El diseño conceptual está representado por una caja negra del colector solar que nos permite representar el contexto donde funciona y una caja blanca que considera la relación de los elementos del colector solar.

El colector solar produce aire caliente, utilizando la radiación solar para ser capturado por las cápsulas de tubos de cobre pintados de negro que contiene el material de cambio de fase y por cuya superficie circula el aire frío hasta calentarse. Pero en el proceso pierde calor, reduciendo la eficiencia del colector solar.

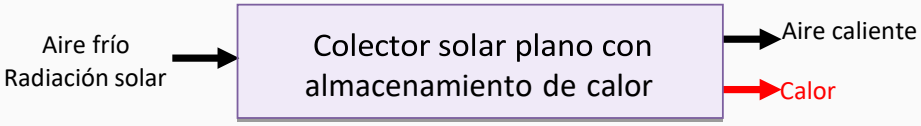


Figura 1. Entradas y salidas del colector solar.

La interacción de los componentes del colector solar permite producir aire caliente incluyendo cápsulas de almacenamiento de calor y aislante térmico que contribuye a reducir la pérdida de calor. La raciación solar ingresa a un sistema fotovoltaico con la finalidad de generar energía eléctrica para alimentar los instrumentos de medición, que controlan la temperatura del aire al interior de la cámara y la temperatura ambiente para cada prueba. También la radiación solar es recepcionado por las cápsulas de material de cambio de fase (MCF) que actúan como un cuerpo negro, este elemento cumple dos funciones, de calentar el aire y almacenar calor en su interior. La cámara de aire almacena el aire caliente para poder utilizarlo ya sea en la industria o laboratorio de acuerdo al requerimiento.

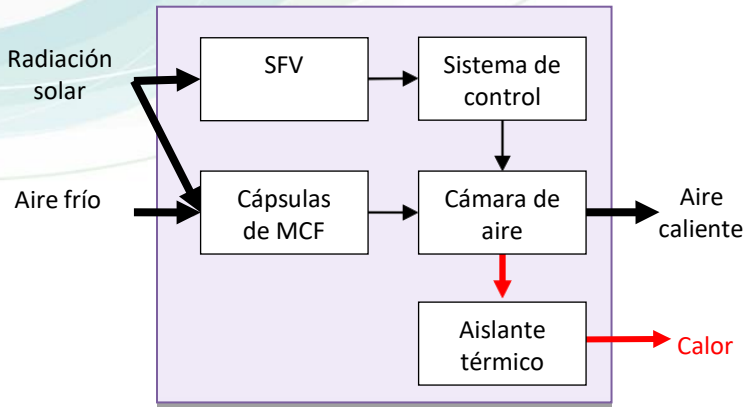


Figura 2. Elementos causales de la pérdida de calor.

Una vez construido el prototipo, se procedió a realizar las mediciones durante el funcionamiento. Se inició la medición cuando el colector solar alcanzó una temperatura de 70°C, momento en el cual se interrumpió el ingreso de la radiación solar.

En la figura 3, podemos notar la variación de la temperatura del aire sin almacenador de calor (Tsa) con almacenador de calor (Tca) y la temperatura ambiente (Ta).

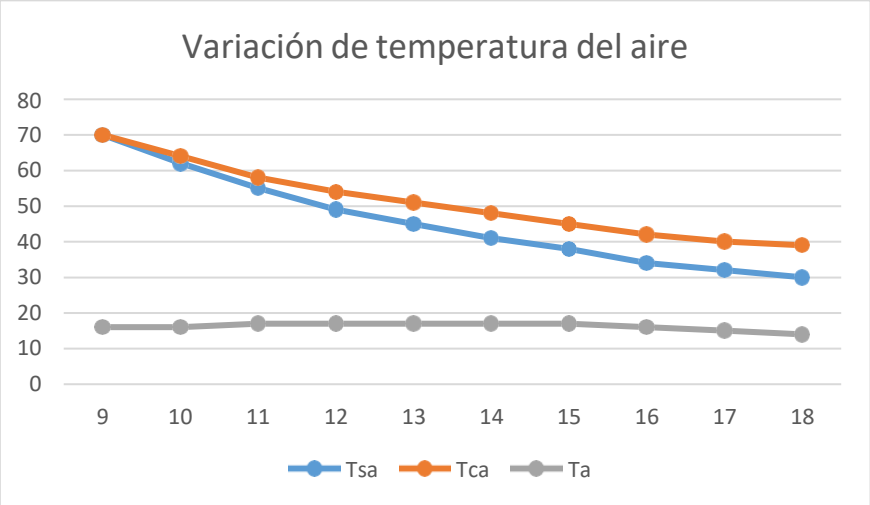


Figura 3. Variación de temperatura del aire y del ambiente.

El aire del colector solar, durante 9 horas de funcionamiento, perdió 40°C utilizando lana de vidrio como aislante térmico, perdió 31°C utilizando adicionalmente el almacenador de calor, en cambio la temperatura ambiente solo experimentó una variación de dos grados centígrados en las 9 horas, debido a que se incrementó la temperatura a partir de las 11 horas hasta las 15 horas.

El rango de temperatura alcanzado por la terma solar durante las 9 horas de evaluación fuer de 40°C, alcanzando un promedio de 45.6°C con una desviación estándar de 13.36°C. El rango de variación de la temperatura ambiente durante las 9 hora de evaluación fue3 de dos grados centígrados, con una temperatura promedio de 16.2°C y una desviación estándar de 1.03°C.

La velocidad media de enfriamiento de la terma solar fue de 4.44°C/hora, produciéndose la máxima velocidad en las primeras horas 8°C/hora y la mínima velocidad al final de la medición de 2°C/hora.

Referencias bibliográficas

Andersen, L., Suxo, A., & Verner, D. (2009). Social Impacts of Climate Change in Peru A District Level Analysis of the Effects of Recent and Future Climate Change on Human Development and Inequality. In World Bank Policy Research Working Paper. Washington, DC: The World Bank.

Balaji, K., Iniyan, S., & Goic, R. (2018). Thermal performance of solar water heater using velocity enhancer. Renewable Energy, 115, 887–895. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.014

British Petroleum. (2017). BP Statistical Review of World Energy 2017. British Petroleum, (66), 1–52. https://doi.org/http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf

Ducoulombier, L., & Lafhaj, Z. (2017). Comparative study of hygrothermal properties of five thermal insulation materials. Case Studies in Thermal Engineering, 10(November), 628–640. https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.11.005

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes (Fourth). https://doi.org/10.1115/1.2930068

Espinoza, C. A. (2014). Metodología de investigación tecnológica (Primera Ed; C. Espinoza Montes, ed.). Retrieved from http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1146/mit1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Famiglietti, A., Lecuona-Neumann, A., Nogueira, J., & Rahjoo, M. (2020). Direct solar production of medium temperature hot air for industrial applications in linear concentrating solar collectors using an open Brayton cycle. Viability analysis. Applied Thermal Engineering, 169, 114914. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.114914

Fernández Del Rio, J. (2010). Patent No. ES 2398842B1. Retrieved from https://patentimages.storage.googleapis.com/89/a0/66/f6081730e97cda/ES2398842B1.pdf

Firebird. (2011). Guide to Solar Thermal Systems. Retrieved from http://firebird.uk.com/wp-content/uploads/2016/06/Guide-to-Solar-Thermal-Systems-Brochure-2012.pdf

Frank, K., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). Principios de transferencia de calor (Séptima ed). Retrieved from

https://books.google.com.pe/books?id=xr4uAzjOquoC&printsec=frontcover&dq=Principios+de+transferencia+de+calor&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi8wpvB99_dAhVhoFkKHUWUBswQ6AEIJzAA#v=onepage&q=Principios de transferencia de calor&f=false

Gangåssætera, H. F., Jelleab, B. P., Mofida, S. A., & Gaoa, T. (2017). Air-Filled Nanopore Based High-Performance Thermal Insulation Materials. Energy Procedia, 132, 231–236. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.760

Mahto, P. K., Chaudhary, R., Chowdhury, S., Alham, M., & Dutta, S. R. (2018). Development of PCM (paraffin wax) based Latent heat Storage type Solar powered Thermo-electric generator. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 377, 1–9. https://doi.org/10.1088/1757-899X/377/1/012188

Nadir, N., Bouguettaia, H., Boughali, S., & Bechki, D. (2019). Use of a new agricultural product as thermal insulation for solar collector. Renewable Energy, 569–578. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.054

Notario, B., Pinto, J., Solorzano, E., de Saja, J. A., Dumon, M., & Rodríguez-Pérez, M. A. (2015). Experimental validation of the Knudsen effect in nanocellular polymeric foams. Polymer, 56, 57–67. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2014.10.006

Osorio, J. D., Rivera-Alvarez, A., Girurugwiro, P., Yang, S., Hovsapian, R., & Ordonez, J. C. (2017). Integration of transparent insulation materials into solar collector devices. Solar Energy, 147, 8–21. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.011

Paneri, A., Wong, I. L., & Burek, S. (2019). Transparent insulation materials: An overview on past, present and future developments. Solar Energy, 184(March), 59–83. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.091

2, 3 y 4 de Septiembre 2020
Bayern International
63° Congreso Internacional VIRTUAL
Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables
BID
BANCO MUNDIAL BIRF • AIF

AFECTACIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO URBANO POR ELEMENTOS ATÍPICOS ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN VISUAL DE SECTORES COMERCIALES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

Gabriel Humberto Rivera Céspedes

Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Bogotá. Colombia, grivera@unisalle.edu.co

Affectation of urban public space by atypical elements associated with visual pollution of commercial sectors in the city of Bogotá.

Abstract

The impact of urban space today is evident when factors such as noise, bad odors, vehicular traffic, emissions, and high population concentration are linked, among others, in this proposal it relates to Atypical Elements as another factor that affects the deterioration of urban environment These elements according to Rivera (2013) are foreign objects that intervene in the normal physical conformation of the urban space, as is the case of installations such as antennas, chimneys, and pipes superimposed on facade surfaces, also informal advertising, saturated cable networks, and graffiti, To cite an example. At the subject level within the academic field, it has been implemented in undergraduate work, the Environmental and Sanitary Engineering program of the University of La Salle, development that has allowed the construction of a methodology for field registration, classification, representation cartographic, quantification and a first approximation to the spatial analysis that allows to begin to understand its degree of affectation. This proposal seeks the continuation of its dissemination at the level of events, such as Casap 2013, 2019 and this time Acodal; It is also proposed to show its presence as a recordable phenomenon, geographically representable and as an aspect that affects and significantly affects the visual quality of the urban space, a problem of easy perception when traveling through sectors with high population and commercial presence, very common in the city from Bogota.

KeyWords: Affectation, atypical elements, urban public space, visual pollution,

Resumen

La afectación del espacio urbano hoy día es evidente cuando se vinculan factores como ruido, malos olores, tráfico vehicular, emisiones y alta concentración de población, entre otros, en esta propuesta se relaciona a los Elementos Atípicos como otro factor que incide en el deterioro del ambiente urbano. Estos elementos según Rivera (2013) son objetos ajenos que intervienen en la conformación física normal del espacio urbano, es el caso de instalaciones como antenas, chimeneas y tuberías sobrepuestas a superficies de fachada, también publicidad informal, redes aéreas saturadas de cables y grafitis, por citar un ejemplo. A nivel de temática dentro del campo académico se ha venido implementando en trabajos de grado de pregrado, del programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle, desarrollo que ha permitido la construcción de una metodología para su registro en campo, clasificación, representación cartográfica, cuantificación y una primera aproximación al análisis espacial que permita empezar a entender su grado de afectación. Esta propuesta busca la continuación de su divulgación a nivel de eventos, como Casap 2013, 2019 y en esta oportunidad Acodal; también se propone evidenciar su presencia como un fenómeno registrable, representable geográficamente y como aspecto que afecta e incide notablemente en la calidad visual del espacio urbano, problemática de fácil percepción cuando se transita por sectores con alta presencia poblacional y comercial, muy comunes en la ciudad de Bogotá.

Palabras clave: Afectación, contaminación visual, elementos atípicos, espacio público urbano

Introducción

Los elementos atípicos y la afectación del espacio urbano hacen referencia a objetos, hasta cierto punto cotidianos, a los que el transeúnte puede acostumbrase e incluso aceptar. Vistos desde una perspectiva por ejemplo de su cantidad, tamaño y su distribución espacial se vuelven elementos que intervienen e invaden el espacio público, conformando sub sectores de la ciudad en verdaderos ambientes caóticos, la figura 1 pretende mostrar lo que se considera un elemento atípico que obstruye visualmente el espacio de una típica calle de barrio.

Figura 1. Un caso donde se destacan componentes de la red de suministro de energía eléctrica. Fuente Rivera, G.

El considerarlos como objetos materiales ubicados dentro de un espacio físico urbano, permite su registro, su geo referenciación y su representación cartográfica, la figura 2 ilustra la forma como se pueden representar gráficamente sobre un plano de dos dimensiones en este caso un sector típico de Bogotá.

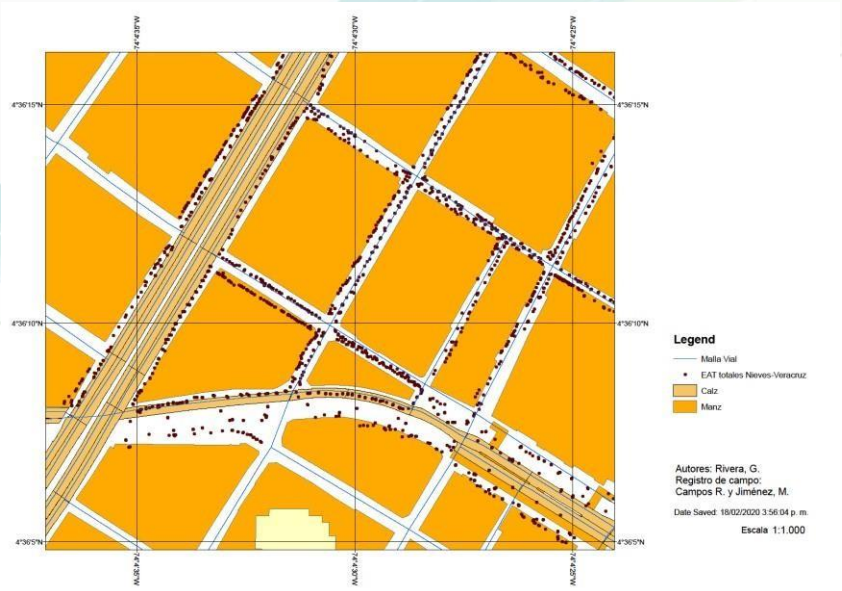


Figura 2. Salida gráfica (Layout View) en ArcMap. Ubicación geográfica de puntos que representan diferentes tipos de Elementos Atípicos, el mapa corresponde al sector Av. Jiménez, y Calle 16, entre la Carreras 10 y 8. Calle 16, localizado en el centro tradicional de Bogotá. Fuente Rivera, G.

Su registro y representación sobre un plano digital, permite opciones de análisis como saber cuántos hay, separarlos por tipos, organizarlos por capas y determinar su mayor concentración, en la figura 4 se presenta la salida gráfica lograda después de aplicar la herramienta de análisis espacial Density de ArcGIS en ArcMap, sobre un mapa base que ubica puntos. En este caso corresponden a la localización de diferentes elementos atípicos (desde chimeneas, grafitis, carteles, cableados hasta la presencia de mobiliario de la venta ambulante). Esta herramienta encierra y determina cantidad, concentración, establece rangos y destaca áreas de mayor densidad.

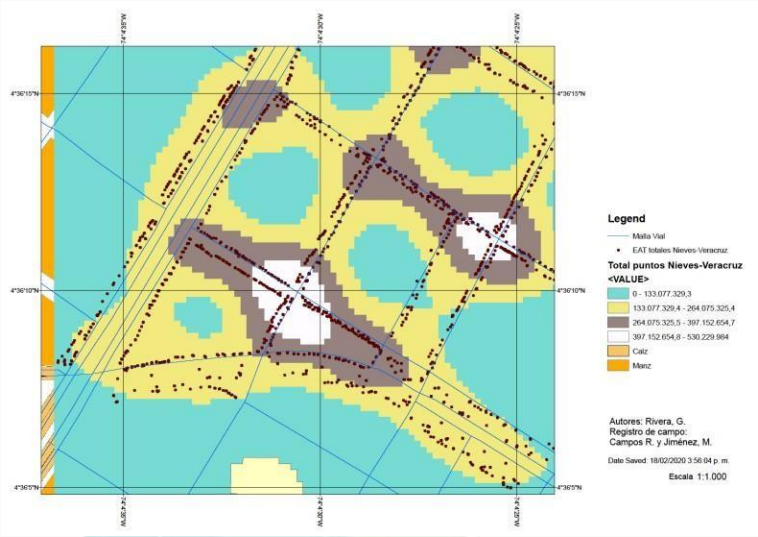


Figura 3. Representación sobre el mismo sector de la figura 1, se ha mantenido el registro de puntos y nótese como se resalta su concentración. La herramienta de análisis espacial utilizada es Kernel Density. Fuente Rivera, G.

Una característica de los elementos atípicos, es su aparición en construcciones que por diferentes circunstancias cambia su destino original, lo que obliga a instalar diferentes equipos que demanda el nuevo uso, en este caso comercial. Ver figura 4.

Figura 4. Chimenea sobrepuesta a la superficie de fachada. Fuente Rivera, G.

Referencias

Trabajos desarrollados y culminados, pertenecientes al programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle, de Bogotá. Dentro de esta dinámica y partir del año 2015, se creó el semillero de investigación CVUA, Contaminación Visual Urbana Atípica, Coordinado por el proponente de esta ponencia Gabriel H. Rivera C.

Arboleda, I. y Rojas M.C. (2017). Determinación del impacto visual generado por los elementos atípicos ubicados en el espacio público del sector Galerías en la ciudad de Bogotá. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Bohórquez, M. y Deaza, N. (2017). Protocolo para la identificación de zonas afectadas por elementos atípicos asociados a la contaminación visual en la ciudad de Bogotá. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Cortes, P. y Wandurraga, L. (2016). Propuesta de caracterización de los elementos atípicos en el espacio público asociados a la contaminación visual urbana en el sector Quirigua. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Castro, M.C. y López, M.C. (2017). Análisis espacial a nivel ciudad de los elementos atípicos asociados a la contaminación visual urbana identificados en ocho zonas de Bogotá. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Flórez, I. (2019). Evaluación del protocolo para la identificación de zonas afectadas por elementos atípicos asociados a la contaminación visual del espacio público en la localidad de Engativá. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

González, M.A. (2017). Propuesta para la cuantificación de la afectación generada por los elementos atípicos

(EAT) en el espacio público urbano. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Herrera, H. (2016). Evaluación de los elementos atípicos en el espacio público conformado entre la carrera 24–avenida caracas y avenida primero de mayo–calle 12. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Jiménez N. y Quintero, S. (2017). Diagnóstico de los elementos atípicos asociados a la contaminación visual presentes en la zona urbana de Funza y los identificados en el sector

Quirigua de Bogotá. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Londoño, A. (2014). Correlación de elementos atípicos urbanos asociados a la contaminación visual y el uso del suelo en la UPZ 47- Kennedy Central. Bogotá. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

López, S. y Rincón, D. (2018). Diagnóstico de la afectación del espacio público urbano por la presencia de elementos atípicos en la UPZ 44 Américas, Localidad de Kennedy. Bogotá. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Mojica, L. y Ramos, A. (2014). Diagnóstico asociado a la contaminación visual urbana atípica del espacio público en la UPZ 20 de JULIO. Bogotá. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Novoa, M. y Vargas, L. (2013). Aplicación del programa ArcGIS en la determinación de las áreas críticas para el análisis de contaminación visual urbana en la UPZ Los Alcázares. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Piñeros, S. (2015). Método para establecer rangos de contaminación visual urbana en la UPZ 99 Chapinero. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Rivera, G. (2013a). Elementos atípicos y contaminación visual urbana en un sector de la zona centro de Bogotá. Ponencia presentada en el IV CASAP. Congreso colombiano y Conferencia internacional de Calidad del aire y Salud pública, Bogotá.

Rivera, G. (2013b). Elementos atípicos y contaminación visual urbana en un sector de la zona centro de Bogotá. Épsilon (21), 83-105.

Rodríguez, P. y Sánchez, K. (2013). Determinación de áreas de contaminación visual urbana aplicando una herramienta tipo SIG (Software ARGIS) en la UPZ 94 La Candelaria de Bogotá D.C, Colombia. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Trujillo, F. (2010). Diagnóstico de la contaminación visual urbana en la localidad de La Candelaria de Bogotá D.C. Director Gabriel H. Rivera C. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN LA HUMEDAD, DENSIDAD APARENTE Y MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO POR EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL NATURAL. CASO DE ESTUDIO: PÁRAMO DE BERLÍN – COLOMBIA.

S.E. Patiño[1*], I.C. Domínguez[1], E.R. Oviedo[1], M.C. Daza[2]

[1]Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías físico-mecánicas, Escuela de ingeniería Civil.
[2]Universidad del Valle, Facultad de ingeniería, Escuela de ingeniería de Recursos Naturales y del Medio Ambiente.
*Autor corresponsal: Santander, Universidad Industrial de Santander, carrera 27 calle 9, ciudad universitaria, Edifico Álvaro Beltrán Pinzón – oficina 203, Bucaramanga. 680002. Colombia. Email: sebastianelias66@yahoo.es

Abstract

The páramo is a strategic ecosystem for the provision of environmental services such as water supply. Its high capacity for water regulation depends on specific soil characteristics. However, the change of natural cover for crops represents a threat to these environmental services. In Colombia, the Páramo Law forbids high impact activities in these ecosystems; however, its implementation demands objective quantitative indicators to assists decision-making. This study assessed the main physical soil properties (water content, bulk density and organic matter) related to water storage capacity under different land uses. The investigation was developed in the Berlín páramo (Colombia), where four duplicate areas of the same cartographic unit with different land uses were selected (potato crop, onion crop, fallow and native vegetation). A randomized stratified in depth sampling (0-5, 10-15 and 20-25 cm) allowed collecting 216 soil samples. The changes in the properties of the soil when comparing native vegetation with anthropic uses were: reduction of the moisture content in 24% in the case of crops and in 20% in the case of fallow; reduction in organic matter content of 10% for crops and 9% for fallow; and increase in bulk density by 0.13 g/cm^3 in fallow. Land use change influences the analysed properties showing significant differences (α = 0.05). A depth gradient on the properties was not evident for fallow and crops since no significant differences were obtained. These results provide quantitative evidence on the negative impact of agricultural activities on soil properties that affect the páramo water storage capacity.

KeyWords: Crop, land use, páramo, physic properties, soil, water.

EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN LA HUMEDAD, DENSIDAD APARENTE Y MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO POR EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL NATURAL. CASO DE ESTUDIO: PÁRAMO DE BERLÍN – COLOMBIA

Resumen

El páramo es considerado un ecosistema estratégico en la provisión de servicios ambientales como el suministro de agua. Su alta capacidad de regulación hídrica depende de características específicas del suelo. No obstante, el cambio de la cobertura natural por actividades agrícolas representa una amenaza a estos servicios. En Colombia, la Ley de páramos prohíbe las actividades de alto impacto en estos ecosistemas, sin embargo, su implementación requiere indicadores cuantitativos para asistir la toma de decisiones. Este estudio evaluó el cambio en las principales propiedades físicas del suelo (humedad, densidad aparente y materia orgánica) relacionadas con la capacidad de almacenar agua bajo diferentes tipos de cobertura. La investigación se llevó a cabo en el páramo de Berlín (Colombia), donde fueron seleccionadas cuatro zonas por duplicado de una misma unidad cartográfica con diferentes usos del suelo (cultivo de papa, cultivo de cebolla junca, barbecho y vegetación nativa -control-). Mediante un muestreo aleatorio estratificado en profundidad (0-5, 10-15 y 20-25 cm) fueron extraídos en total 216 especímenes de suelo. Los cambios en las propiedades del suelo comparando la vegetación natural y los usos antrópicos fueron: reducción en el contenido de humedad en 24% (cultivos)- y 20% (barbecho); reducción en el contenido de materia orgánica de 10% (cultivos) y 9% (barbecho); e incremento de la densidad aparente de 0.13 gr/cm^3 en barbecho. El cambio de uso del suelo influye en las propiedades evaluadas presentando diferencias significativas (α=0.05); en cambio, el gradiente en profundidad no es evidente para barbecho y cultivos. Estos resultados corroboran que las prácticas agrícolas impactan negativamente las propiedades del suelo, afectando la capacidad de almacenamiento hídrico del páramo.

Palabras clave: Agua, cultivo, páramo, propiedades físicas, suelo, uso del suelo.

Introducción

América Latina es uno de los centros de biodiversidad y recursos naturales más importantes a nivel mundial, su ubicación y orografía particular (marcada por la cordillera de los Andes) le otorga características ambientales únicas (PNUMA, 2002). Más de un 50% de las áreas de montaña, como la región Andina, son esenciales en el soporte ambiental de regiones ubicadas en tierras bajas (Viviroli et al., 2007). No obstante, las corrientes de agua de los Andes son modificadas por actividades económicas: cultivos, ganadería, plantaciones forestales, minería y expansión urbana (Buytaert et al., 2005). Estas actividades plantean riesgos en la integridad de la alta montaña y sus servicios ecosistémicos (Buytaert et al., 2006; Hofstede et al., 2014), generando cambios sobre el suelo (Daza, et al., 2014; García

et al., 2008; Podwojewski & Poulenard, 2000) y el ciclo natural del agua (Stonestrom et al., 2009).

El páramo - ecosistema húmedo tropical (Rangel, 2000)- es el mayor proveedor de agua en los Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador, zonas interandinas, costas del Caribe y el Pacifico de Costa Rica y Panamá (Luteyn, 1999). Un gran número de los sistemas fluviales andinos septentrionales nacen en el páramo, y los sistemas de riego, agua potable e hidroelectricidad dependen de éste (Podwojewski & Poulenard, 2000). El 1.7% del territorio colombiano (1'932.987 ha) se cataloga como ecosistema de páramo (Morales et al., 2007). La producción de agua de este tipo de cuencas en Colombia se estima en aproximadamente 1400 mm/año (4% oferta hídrica) (MMA, 2005), sin embargo, suministran el 70% del agua de Colombia (Hincapié et al., 2002). El almacenamiento hídrico es una de las principales funciones ambientales del suelo de páramo, pues éste retiene grandes volúmenes de agua y controla su flujo a través de las cuencas hidrográficas (De Biévre et al., 2006). Así pues, los servicios hídricos proporcionados por el páramo pueden ser cruciales en escenarios futuros donde se estima que más de un 60% de la población de Colombia podría estar sujeta a condiciones de escasez (IDEAM, 2001). En la región Andina montañosa el 86.5% de su superficie presenta algún grado de erosión (Blackman & Sánchez-Triana, 2007), debido a la acelerada expansión de la frontera agrícola (Sandoval, 2004). Diversas publicaciones encuentran una relación directa entre el cambio del uso del suelo y la capacidad de almacenamiento hídrico en páramo (Buytaert et al., 2005; Ochoa-Tocachi et al., 2016). No obstante, la mayoría de estas investigaciones se centran en contextos climáticos e hidrológicos diferentes a Colombia.

El páramo de Berlín hace parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (MAVDT, 2010) y actualmente es objeto de delimitación (Colprensa, 2018). El complejo de páramos Santurbán-Berlín suministra agua al distrito de riego Asozulia (1400 concesiones), la central térmica Tasajero y poblaciones: Área Metropolitana de Bucaramanga y el 30% de la ciudad de Cúcuta (Sarmiento & Ungar, 2014). Por esta razón, el páramo de Berlín tiene una importancia estratégica como proveedor hídrico; no obstante, el cambio del uso del suelo plantea retos para su conservación. De esta forma, esta investigación buscó generar información primaria de las propiedades físicas del suelo vinculadas con el almacenamiento hídrico (humedad, densidad aparente y contenido de materia orgánica) para mejorar el saber de estos ecosistemas en un contexto nacional bajo la influencia de cultivos y prácticas agrícolas, generando información para la toma de decisiones asociadas a la innovación rural sostenible enfocadas en el empleo eficiente y sostenible del suelo.

Método

La metodología seguida para la presente investigación se dividió en tres fases (Figura 1).

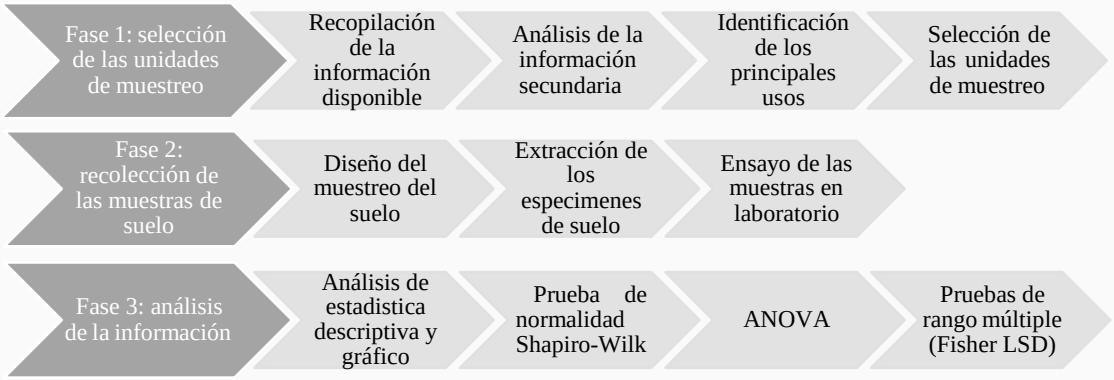


Figura 3. Estructura general de la metodología de investigación.

Área de estudio

El páramo de Berlín se encuentra ubicado en la Cordillera Oriental de Colombia en los 07°06'15'' de latitud norte y los 72°56'35'' de latitud oeste. La zona de estudio se localizó en la vereda Parra Juan Rodríguez a una altura de 3420-3630 msnm, que corresponde a piso térmico de páramo. Presenta una precipitación promedio anual 702 mm, temperatura promedio 10-15 °C y una humedad relativa 86% (Avellaneda, 2012).

Fase 1: selección de las unidades de muestreo

La determinación de las parcelas de muestreo se basó en información secundaria: cartografía e hidrografía (1:100000) y mapa de usos del suelo 2015 (1:25000), de la cuenca del Río Tona, así como el mapa general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Santander IGAC (1:100000); y la asesoría de funcionarios de la corporación ambiental regional. Primeramente, se identificaron los principales efectos antrópicos sobre el suelo en la región y/o que tienen un impacto social sobre la comunidad. A partir de la fotointerpretación de los mapas disponibles se reconocieron las unidades de muestreo potenciales con un uso antrópico dominante, pertenecientes a una misma unidad cartográfica. Estas unidades fueron exploradas en campo para reconocer sus características generales como: facilidad de acceso, topografía, vegetación, disponibilidad de los dueños y representatividad de los efectos antrópicos.

Se seleccionaron cuatro usos dominantes por duplicado en la región: cultivo de cebolla (C.c), cultivo de papa (C.p), barbecho (B) y vegetación natural (páramo abierto y bosque ripario; VNP). Todas las áreas pertenecían a la misma unidad cartográfica de suelo (MHDe)

con una clasificación taxonómica Typic Dystropepts ácida, isomésica y con un régimen de humedad údico. Este suelo presenta morfológicamente una distribución de horizontes A-B-Cr, donde el horizonte A es pardo oscuro, con una textura franco arcillosa, que descansa sobre un B amarillo con textura similar al superior; el horizonte Cr corresponde a cuarzomonzonita (IGAC, 2003). Los suelos son bien drenados, profundos, muy fuertemente ácidos, con bajos contenidos de Calcio, Magnesio y Fosforo, alto Aluminio de cambio y baja fertilidad.

Fase 2: recolección de las muestras de suelo

Mediante un muestreo aleatorio discreto estratificado en profundidad (0-5, 10-15 y 20-25 cm) fueron extraídos los especímenes de suelo en las unidades de muestreo. Se seleccionaron seis puntos distribuidos al azar sobre cada una de las parcelas y duplicado, resultando en un total de doce puntos por unidad de muestreo. Como resultado, fueron extraídas 36 muestras de suelo para cada uso antrópico y 108 muestras de suelo para uso natural (72 páramo abierto y 36 bosque ripario), para un total de 216 especímenes de suelo recolectados. La obtención de los especímenes de suelo se realizó mediante barreno manual y anillos de pared delgada tipo Kopecky de 100 cm^3. En la Tabla 1 se muestran las propiedades analizadas, profundidad, número de muestras y réplicas, y el protocolo seguido para su cuantificación.

Tabla 1. Propiedades del suelo evaluadas.

Profundidad (cm)	Propiedad	Norma	Referencia	NM (NR)
0-5	Contenido de humedad (CH)	ASTM D2216-10	(ASTM, 2001)	
10-15	Contenido de materia orgánica (COT)	ASTM F1647-11	(ASTM, 2011)	6(6)
20-25	Densidad aparente (DA)	ASTM D7263-09	(ASTM, 2011)	

Nota: NM: número de muestras; NR: número de réplicas.

Las muestras fueron preservadas y transportadas de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D4220-95 (ASTM, 2007) en bolsa hermética y cava plástica. Los ensayos se realizaron en el laboratorio del Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en el menor tiempo posible después de la recolección de las muestras.

Fase 3: análisis de la información

Se determinó la diferencia en las propiedades del suelo entre las unidades de muestreo (C.c, C.p, B y VNP) en base a estadística descriptiva, análisis gráfico, coeficiente de correlación de Pearson, análisis de varianza completamente al azar (ANOVA; verificación de la normalidad con prueba de Shapiro-Wilk) y prueba de rangos múltiples (Fisher LSD). Se empleó el software Excel y todas las pruebas estadísticas se efectuaron con un nivel de significancia de 0.05.

Resultados y discusión

Se realizaron dos comparaciones estadísticas de las medias: i) entre profundidades para un mismo uso (a, b y c) y ii) entre usos -totalidad de los datos- (m, n, r y o). Las medias que no comparten la misma letra indican diferencias estadísticamente significativas. Los usos con B, C.c y C.p no presentaron diferencias significativas en el perfil evaluado (0-25 cm) para CH, Da y COT (Figura 2-4) posiblemente debido a la mezcla del suelo producto del arado, resultados similares fueron encontrados por Napoleón et al. (2008), no obstante, la alteración de la estructura natural influye en la capacidad del suelo de regular flujos de agua (Buytaert et al., 2002). Por otro lado, en DA todos los usos presentaron diferencias significativas (Figura 5), y para el CH y COT, en B y C.p presentaron medias similares (Figura 2 y 4).

Humedad

La VNP exhibe, en promedio, un mayor CH a nivel superficial (64%; Figura 4). En este uso, el CH disminuye de forma casi lineal hasta los 25cm, presentando su menor valor a esta profundidad (40%). En el caso del barbecho, no presenta un gradiente pronunciado con una variación de 6% entre 0-25cm. Un patrón similar se evidencia en los usos bajo cultivo variando en promedio 1%. Esta pauta puede ser producto del arado profundo del suelo la cual posiblemente cambie la distribución del tamaño de poro y aumente temporalmente la porosidad, sin embargo, Benavides et al. (2018) resalta que es una hipótesis que requiere mayor investigación. Este aumento temporal de la porosidad, producto del arado, promueve a corto plazo un movimiento más rápido del agua en el suelo, mejorando notablemente su capacidad de infiltración, no obstante, puede aumentar los procesos de erosión y pérdida de sedimentos en un factor de 10 (Poulenard et al., 2001). El CH y COT para VNP presentaron una correlación alta (0.876).

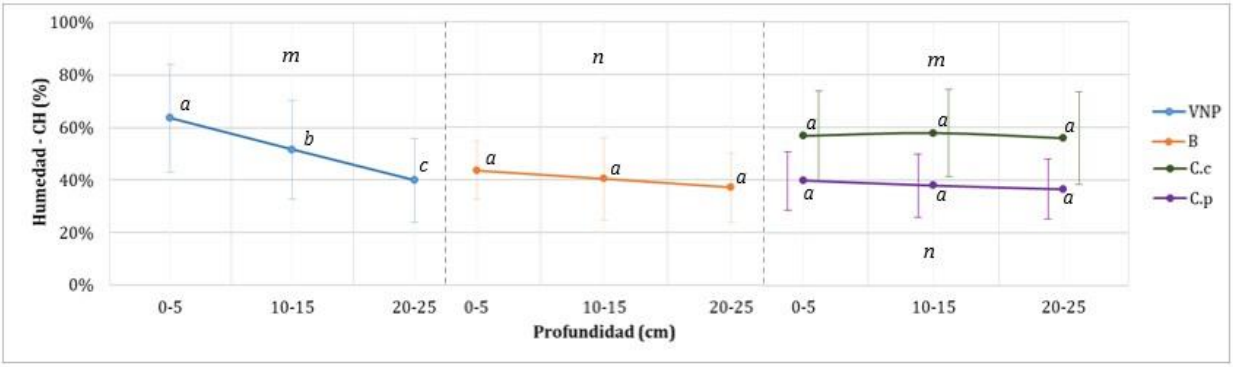


Figura 4. Gradiente de humedad promedio y desviación estándar muestral por profundidad.

Nota. VNP: vegetación natural de páramo; B: barbecho; C.c: cultivo de cebolla; C.p: cultivo de papa; a, b, c: comparación estadística entre profundidades; m, n, r, o: comparación estadística entre usos. Letras no iguales indican diferencias estadísticamente significativas (α=0.05; prueba de Fisher LSD).

La diferencia de humedad entre el cultivo de cebolla y papa, en el perfil evaluado (0-25 cm), es de aproximadamente 16%, este excedente de humedad se puede deber al riego constante de las parcelas con cebolla junca. La alta variación de la humedad en profundidad indica un mayor movimiento del agua a través de los poros, como es el caso de la VNP (Figura 4), resultando en una mejor capacidad del suelo de regular los flujos de agua producto de un evento de precipitación (Celis et al., 2004). Benjamin (1993) encuentra una mejor distribución de la humedad y tamaño de poro en parcelas no intervenidas con arado. Por otro lado, en parcelas intervenidas la mejora de las condiciones superficiales del suelo (capacidad de infiltración, conductividad hidráulica, densidad aparente y porosidad) son de carácter temporal y es altamente influenciado por la heterogeneidad espacial del clima y suelo (Strudley et al., 2008).

Densidad aparente

El cultivo de cebolla y papa presentan una DA de 0.95 y 0.90 gr/cm^3, en todo el perfil, así mismo, se observa un ligero gradiente positivo entre 0-25 cm de 0.05 y 0.03 gr/cm^3 (Figura 5) para cultivo de cebolla y papa, respectivamente. Los cultivos exhiben una DA levemente superior en comparación la VNP a nivel superficial (0-5 cm); resultados similares se observan en Daza et al. (2014) y Quichimbo et al. (2012). El volcamiento de la tierra, previo a las actividades de cultivo, rompe la estructura natural del suelo, aumenta la aireación, y puede disminuir la DA del suelo, no obstante, es una variable que depende de la clase de labrado, frecuencia, tipo de suelo, características climáticas, entre otros (Strudley et al., 2008). En VNP las variables DA y CH presentaron una correlación moderada (-0.694).

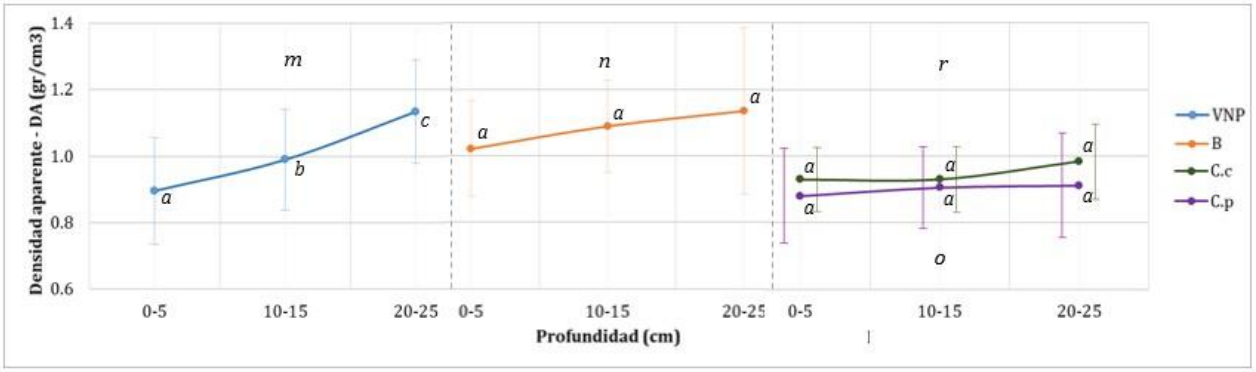


Figura 5. Gradiente de densidad aparente promedio y desviación estándar por profundidad.

Nota. VNP: vegetación natural de páramo; B: barbecho; C.c: cultivo de cebolla; C.p: cultivo de papa; a, b, c: comparación estadística entre profundidades; m, n, r, o: comparación estadística entre usos. Letras no iguales indican diferencias estadísticamente significativas (α=0.05; prueba de Fisher LSD).

La DA más baja se encontró a nivel superficial (0-5 cm) en VNP de 0.90 gr/cm^3, con un valor mínimo de 0.46 gr/cm^3 en un área de bosque ripario; el gradiente en este uso es el más pronunciado con una variación entre 0-25 cm de 0.23 gr/cm^3 (Figura 5). Por otro lado, el B fue el uso más compactado con una DA de hasta 1.45 gr/cm^3 entre 20-25 cm. La alta DA y elevada variabilidad en las parcelas con barbecho puede estar asociada al uso eventual de los lotes abandonadas con pastoreo extensivo de bovinos. Como lo reporta Hofstede (1995) una influencia significativa sobre la estructura del suelo (aumento DA) se produce cuando se supera los 10 animales/hectárea. Podwojewski et al. (2002), encontraron una variación de la DA entre parcelas con VNP y aquellas sometidas a sobrepastoreo de hasta 0.8 gr/cm^3, debido a la compactación del suelo producto de la pisada de los animales y la desecación superficial del suelo.

Contenido de materia orgánica del suelo

El mayor contenido total de materia orgánica del suelo (COT) se encontró en la VNP a nivel superficial (26%; Figura 6), así mismo, se hallaron COT de hasta 52% en zonas en áreas de bosque ripario. Este uso presenta un pronunciado gradiente con una variación entre 0-25cm de 13%. Una reducción en el COT se observa en todos los usos antrópicos, Barbecho presentó los menores porcentajes seguido del cultivo de papa y cebolla (Figura 6). Esta reducción se debe posiblemente a la remoción de la capa vegetal, la exposición directa del suelo a las condiciones climáticas, sumado a las actividades de preparación del suelo (arado), los cuales aceleran los procesos de oxidación de la materia orgánica; así mismo, el aporte de biomasa en condiciones alteradas (barbecho y cultivos) no es suficiente para restablecer las condiciones naturales del suelo y su recuperación puede llevar un largo tiempo (Harden, 2006).

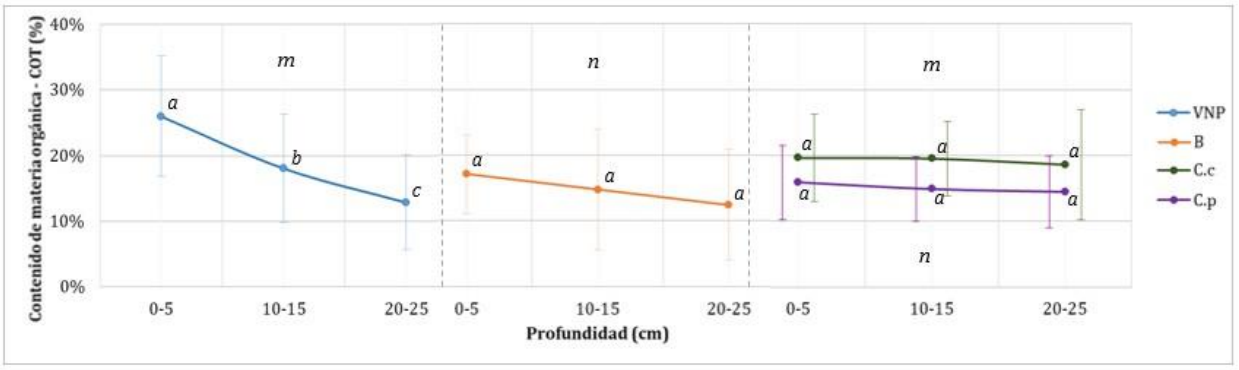


Figura 6. Gradiente de contenido de materia orgánica promedio y desviación estándar por profundidad.

Nota. VNP: vegetación natural de páramo; B: barbecho; C.c: cultivo de cebolla; C.p: cultivo de papa; a, b, c: comparación estadística entre profundidades; m, n, r, o: comparación estadística entre usos. Letras no iguales indican diferencias estadísticamente significativas (α=0.05; prueba de Fisher LSD).

En las parcelas altamente intervenidas se puede presentar una reducción del COT de hasta 40% como lo reporta Podwojewski et al. (2002) y Buytaert & Deckers (2002). En este caso, la reducción máxima de COT se produjo en el cultivo de papa (10%) a nivel superficial (0-5 cm). La diferencia entre el C.p y C.C (4%) se puede deber a las practicas locales de los agricultores que no introducen en la misma proporción materia orgánica. Para VNP el COT y DA presentan una correlación alta (-0.737), similar a lo reportado por Daza et al. (2014).

Conclusiones

El cambio del uso de la tierra (por actividades agropecuarias) en ecosistema de páramo generó cambios significativos en las propiedades físicas del suelo relacionadas con el almacenamiento hídrico en el presente estudio. Las parcelas con barbecho y cultivo de papa presentaron los mayores cambios respecto al estado natural, presentando menores contenidos de humedad (20 y 24 %) y materia orgánica (9 y 10%). En el caso del cultivo de cebolla, el riego y la fertilización artificial, mejoraron el CH y COT, sin embargo, la estructura natural del suelo es afectada por las prácticas de arado, al remover la capa vegetal natural y exponer el suelo directamente a las condiciones ambientales. Por lo tanto, es necesario armonizar los medios de sustento de las comunidades de páramo y la preservación de este ecosistema estratégico.

Agradecimientos. Los autores agradecen: UIS por la financiación del proyecto, COLCIENCIAS por la beca Jóvenes Investigadores 812, a la UNIVALLE y CDMB por el apoyo técnico.

Referencias bibliográficas

ASTM. (2001). Standard test method for pH of soils. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, PA: ASTM International. https://doi.org/10.1520/D2216-10.1.5

ASTM. (2007). Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples. International Standard. West Conshohocken, PA: ASTM International. https://doi.org/10.1111/jocn.13195

ASTM. (2011). Standard Test Methods for Organic Matter Content of Athletic Field Rootzone Mixes. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, PA: ASTM International. https://doi.org/10.1520/D2216-10.1.5

Avellaneda, M. (2012). Componente biótico. In I. Lopez (Ed.), Estudio páramo Santurban (1st ed.). Bucaramanga, Colombia: CDMB.

Benavides, I. F., Solarte, M. E., Pabón, V., Ordoñez, A., Beltrán, E., Rosero, S., & Torres, C. (2018). The variation of infiltration rates and physical-chemical soil properties across a land cover and land use gradient in a Paramo of southwestern Colombia. Journal of Soil and Water Conservation, 73(4), 400–410. https://doi.org/10.2489/jswc.73.4.400

Benjamin, J. G. (1993). Tillage effects on near-surface soil hydraulic properties. Soil and Tillage Research, 26(4), 277–288. https://doi.org/10.1016/0167-1987(93)90001-6

Blackman, A., & Sánchez-Triana, E. (2007). Control de la degradación de los suelos y de la deforestación. In Prioridades ambientales para la reducción de la probreza en Colombia (pp. 403–436). Bogotá, Colombia: Mayol.

Buytaert, W, & Deckers, J. (2002). Impact of land use changes on the hydrological properties of volcanic ash soils in South Ecuador. Soil Use and Management, 2, 94–100. https://doi.org/10.1079/SUM2001107

Buytaert, Wouter, Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. Earth-Science Reviews, 79(1–2), 53–72. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002

Buytaert, Wouter, Wyseure, G., De Bièvre, B., & Deckers, J. (2005). The effect of land-use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador. Hydrological Processes, 19(20), 3985–3997. https://doi.org/10.1002/hyp.5867

Celis, M. De, Dimas, J., David, R., Celis, E. M. De, Barron-reyna, H., López-martínez, J. D., & Valdez-cepeda, R. D. (2004). Behavior of Soil Compaction and Soil Moisture under Different Tillage Systems. Tierra Latinoamericana, 22(1), 35–40.

Colprensa. (2018, August 29). Corte ratificó tutela que tumbó la delimitación del Páramo de Santurban. Diario El País.

Daza, M., Flórez, F., & Triana, F. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 67(1), 7189–7200. https://doi.org/2248-7026

De Biévre, B., Iñiguez, V., & Buytaert, W. (2006). Hidrología del páramo. Importancia, propiedades y vulnerabilidad. Investigaciones Biofisicas En El Páramo, 21.

García, M. C. R., García, C. E. R., Brown, S., & Cordero, E. (2008). Water Resource Research and Education in Mountain Communities. Mountain Research and Development, 28(3/4), 196–200. https://doi.org/10.1659/mrd.1038

Harden, C. P. (2006). Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. Geomorphology, 79(3–4), 249–263. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.021

Hincapié, J., Castillo, C., Cruz, S., Ramírez, D., Salazar, F., Ville, J., … Van der Hammen, T. (2002). Transformación y cambio en el uso del suelo en páramos de Colombia en las últimas decadas. In C. Uribe (Ed.), Páramos y Ecosistemas alto Andinos de Colombia en condiciones Hotspot & Global Climatic Tensor (pp. 221–335). Bogotá, Colombia: PNUD.

Hofstede, RGM. (1995). Effects of livestock farming and recommendations for management and conservation of paramo grasslands (Colombia). Land Degradation & Rehabilitation, 6(February), 133–147. https://doi.org/10.1002/ldr.3400060302

Hofstede, Robert, Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., … Cerra, M. (2014). Los Páramos Andinos ¿Qué Sabemos?: Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema de páramo (1st ed.). Quito, Ecuador: UICN.

IDEAM (Instituto de Hidrolgía Meteorología y Estudios Ambientales). (2001). El medio ambiente en Colombia. Bogotá, Colombia.

IGAC. (2003). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Bogotá, Colombia.

Luteyn, J. (1999). Páramo: A checklist of plant diversity, geographical distribution and botanical literature. New York Botanical Garden Press, 84, 278.

MAVDT (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial). Decreto 2372 (2010). República de Colombia.

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). (2005). Lineamientos de política para el manejo integral del agua. Bogotá, Colombia.

Morales, M., Otero, J., Van der Hammen, T., Torres, A., Cadena, C., Pedraza, C., … Gilede, E. P. (2007). Atlas de páramos de Colombia. (J. . Betancourth, Ed.) (1st ed.). Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Napoleón, B., Montealegre, G., Ipaz, S., Chaparro, S., & Ramírez, L. (2008). Efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas y la pérdida de suelo en la rotación papa-pastos en áreas de ladera en una región alto andina de Colombia. Acta Agronómica, 57(1), 35–42.

Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W., De Bièvre, B., Célleri, R., Crespo, P., Villacís, M., … Arias, S. (2016). Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. Hydrological Processes, 30(22), 4074–4089. https://doi.org/10.1002/hyp.10980

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (2002). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO-3). (R. Clarke, R. Lamb, & D. R. Ward, Eds.) (1st ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

Podwojewski, P., & Poulenard, J. (2000). La degradación de los suelos de los páramos. In P. Mena, G. Medina, & C. Josse (Eds.), Los suelos del páramo (pp. 27–36). Quito, Ecuador, Ecuador: Serie páramo 5. GTP/Abya Yala.

Podwojewski, P., Poulenard, J., Zambrana, T., & Hofstede, R. (2002). Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo. Management, 18, 45–55. https://doi.org/10.1079/SUM2001100

Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning. Catena, 45(3), 185–207. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00148-5

Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cardenas, I., Crespo, P., & Celleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Paramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. Suelos Ecuatoriales, 42(2)(2), 138–153.

Rangel, J. . (2000). La region paramuna y franja aledaña en Colombia. In J. . Rangel (Ed.), Colombia. Diversidad Biótica III. La Región de Vida Paramuna (pp. 1–23). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Instituto de ciencias naturales.

Sandoval, M. (2004). Agricultural and settlement frontiers in the tropical Andes : the páramo belt of northern Ecuador, 1960-1990. Mountain Research and Development, 25(4), 386–387.

Sarmiento, C., & Ungar, P. (2014). Aportes a la delimitación del páramo mediante la identificación de los límites inferiores del ecosistema a escala 1:25.000 y análisis del sistema social … . (C. Sarmiento & P. Ungar, Eds.) (1st ed.). Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Stonestrom, D. A., Scanlon, B. R., & Zhang, L. (2009). Introduction to special section on Impacts of Land Use Change on Water Resources. Water Resources Research, 45(6), 1–3. https://doi.org/10.1029/2009WR007937

Strudley, M. W. M. W., Green, T. R. T. R., Ascough II, J. C., & Ascough, J. C. (2008). Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. Soil and Tillage Research, 99(1), 4–48. https://doi.org/10.1016/j.still.2008.01.007

Viviroli, D., Dürr, H. H., Messerli, B., Meybeck, M., & Weingartner, R. (2007). Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. Water Resources Research, 43(7). https://doi.org/10.1029/2006WR005653

VALORACIÓN ECONÓMICA DE SERVICIOS AMBIENTALES –CAPTURA DE CARBONO– EN EL PÁRAMO LA CORTADERA, BOYACÁ

Alejandro Parra Saad[1]*

1Programa de Ingeniería ambiental y sanitaria, Universidad de La Salle

**Autor corresponsal:* Programa de Ingeniería ambiental y sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle sede Candelaria, carrera 2 No 10-70, bloque A, piso 6, – Barrio la Candelaria, Bogotá D.C. Código Postal: 111711. Colombia. Email: alparra@unisalle.edu.co

Abstract

This work quantifies the economic value of the Páramo La Cortadera, located between the municipalities Pesca, Rondón, Siachoque, Toca and Tuta, in Boyacá, Colombia. Rondón, Siachoque, Toca and Tuta, in Boyacá, Colombia. It is used the economic valuation approach called Contingent Valuation Method (MVC), which allows estimating the economic value of the environmental services provided to the society by an ecosystem. The standard methodology of economic valuation of environmental goods and services was followed, for which the environmental object of Páramo de La Cortadera valuation was defined promptly, the population under study was delimited and the optimal sample size was established; a questionnaire was designed to identify the availability to pay (DAP) for an intervention program that guarantees and promotes the conservation of the Páramo de La Cortadera, improving the environmental conditions and the potential of carbon sequestration of the soil as a strategic ecosystem service, guaranteeing income generation through the carbon bond mechanism. The survey format was divided into three sections, i) identification of socioeconomic conditions, ii) environmental factors and, iii) willingness to pay (DAP) consultation of the residents of the study area. As part of the main results of the study, it was found that, on average, households in the municipalities of the area of influence of the Páramo are willing to pay $ 19,824 Colombian pesos per month, or approximately $ 237,888 Colombian pesos per year, which corresponds to a total economic value (VET) of $ 677,267,136.

KeyWords: Carbon Capture, Willingness to Pay, Páramo La Cortadera and Economic valuation.

Valoración Económica de Servicios Ambientales –Captura de Carbono– en el Páramo la Cortadera, Boyacá

Resumen

En este trabajo se cuantifica el valor económico del Páramo La Cortadera, ubicado entre los municipios Pesca, Rondón, Siachoque Toca y Tuta, en Boyacá, Colombia. Se utiliza el enfoque de valoración económica denominado Método Valoración Contingente (MVC), el cual permite estimar el valor económico de los servicios ambientales prestados a la sociedad por un ecosistema. Se siguió la metodología estándar de valoración económica de bienes y servicios ambientales, para lo cual se definió puntualmente el objeto ambiental de valoración *Páramo de la Cortadera*, se delimitó la población objeto de estudio y se estableció el tamaño óptimo de muestra; se diseñó un cuestionario encaminado a identificar la disponibilidad a pagar (DAP) por un programa de intervención que garantice y promueva la conservación del páramo de La Cortadera, mejorando las condiciones ambientales y el potencial de captura de carbono del suelo como servicio ecosistémico estratégico, garantizando la generación de rentas por el mecanismo de bonos de carbono; el formato de encuesta se dividió en tres secciones i) identificación de condiciones socioeconómicas, ii) factores ambientales y iii) consulta de disposición a pagar (DAP) de los habitantes de la zona de estudio. Como parte de los resultados principales del estudio se encontró que en promedio los hogares de los municipios del área de influencia del Páramo están dispuestos a pagar $19.824 pesos por mes, es decir $ 237.888 pesos por año aproximadamente, lo que corresponde a un valor económico total (VET) de $677.267.136.

Palabras clave: Captura de Carbono, Disposición a Pagar, Páramo La Cortadera y Valoración económica.

Introducción

Uno de los aspectos más importantes de la conservación de los recursos naturales, es el de mantener el flujo de servicios ambientales en condiciones óptimas y de accesibilidad (calidad y cantidad). La adecuada gestión y conservación de los recursos de la biosfera permiten hacer frente a problemáticas como la del cambio climático, en este sentido los recursos forestales ocupan un lugar central por su capacidad de capturar carbono, es decir, ser una barrera natural contra el calentamiento global, que a su vez ha permitido dinamizar instrumentos y políticas económicas, por ejemplo, los programas de Bonos Transables de Carbono (Larsen y Anwar, 1994; Karp y Liu, 1999), llegado a este punto, otro bien ambiental que tiene un potencial mayor de captura de carbono es el suelo de Páramo (UPTC, 2019,Por lo que su aprovechamiento de forma sostenible puede constituirse en un motor del crecimiento verde para la región.

Colombia posee cerca del 51% de los Páramos del planeta lo que le permite tener una posición ventajosa en cuanto al potencial de captura de carbono, y su consecuente impacto en el mercado de bonos de carbono, por consiguiente, se hacer relevante conocer el valor económico total de estos ecosistemas con el fin de contar con una aproximación de su costo

de oportunidad social. Para estimar la Disponibilidad A Pagar (DAP) y/o el Valor Económico Total (VET), metodológicamente se emplea el Método de Valoración Contingente (MVC) con el fin de estimar las medidas de bienestar señaladas, que perciben los beneficiarios de los servicios ecosistémicos, en este caso los beneficiarios del Páramos La Cortadera.

Servicios ambientales

Se realizaron tres salidas de campo de reconocimiento y levantamiento de información, entre los meses de noviembre de 2019 y enero de 2020; en el instrumento de captura de información se preguntó a la los encuestados si conocían los servicios ambientales que prestaba el Páramo de La Cortadera, de las cuales se identificó que la comunidad distingue de forma precisa en servicio de aprovisionamiento de agua dulce, tanto para consumo humano, como para regadío, seguido de la purificación del aire (categoría en la que se encuentras el servicio de captura de carbono). En la siguiente figura se presentan los principales servicios ambientales percibidos por la comunidad.

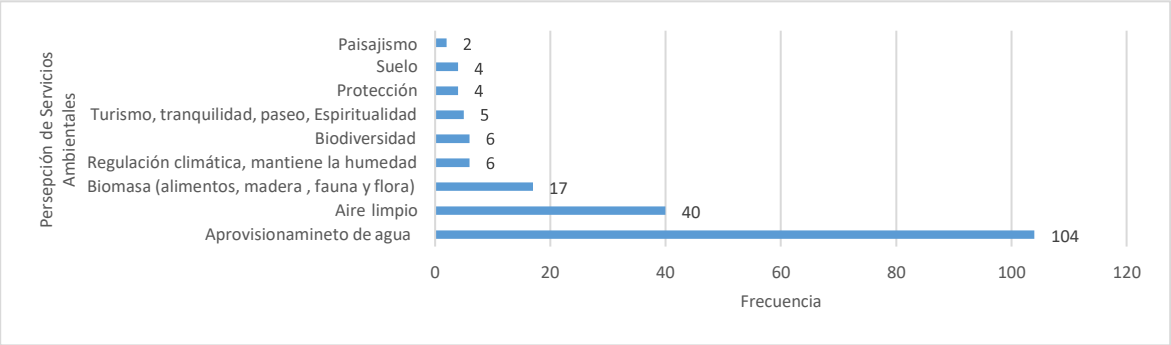


Figura 2. Servicios ambientales identificado por las comunidades en el Páramo La Cortadera". Fuente: Elaboración propia

Localización

La zona de estudio es el parque regional natural la Cortadera la cual se encuentra ubicado en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá en el departamento de Boyacá entre la vereda del Alisal del municipio de Tuta, las veredas Toledo, Suaname, Noguata, Corazon, Puerta Chiquita, Chaguata, Butaga y Carbonera del municipio de Pesca, las veredas de Chorrera, Cunuca, Centro y Tuaneca del municipio de Toca, las veredas de Cormechoque Arriba, San Jose, Siachoque Arriba, Fitaya y Tocavita en el municipio de Siachoque y en las veredas de Juan Vasquez, Junin, San Jose y San Antonio en el municipio de Rondón. La zona fue delimitada y declarada como Parque Regional Natural por medio del Acuerdo 024 del 2015 en un área de 16508,41 hectáreas y tiene como objetivo conservar y proteger la biota, recursos naturales y servicios ambientales de la zona delimitada.

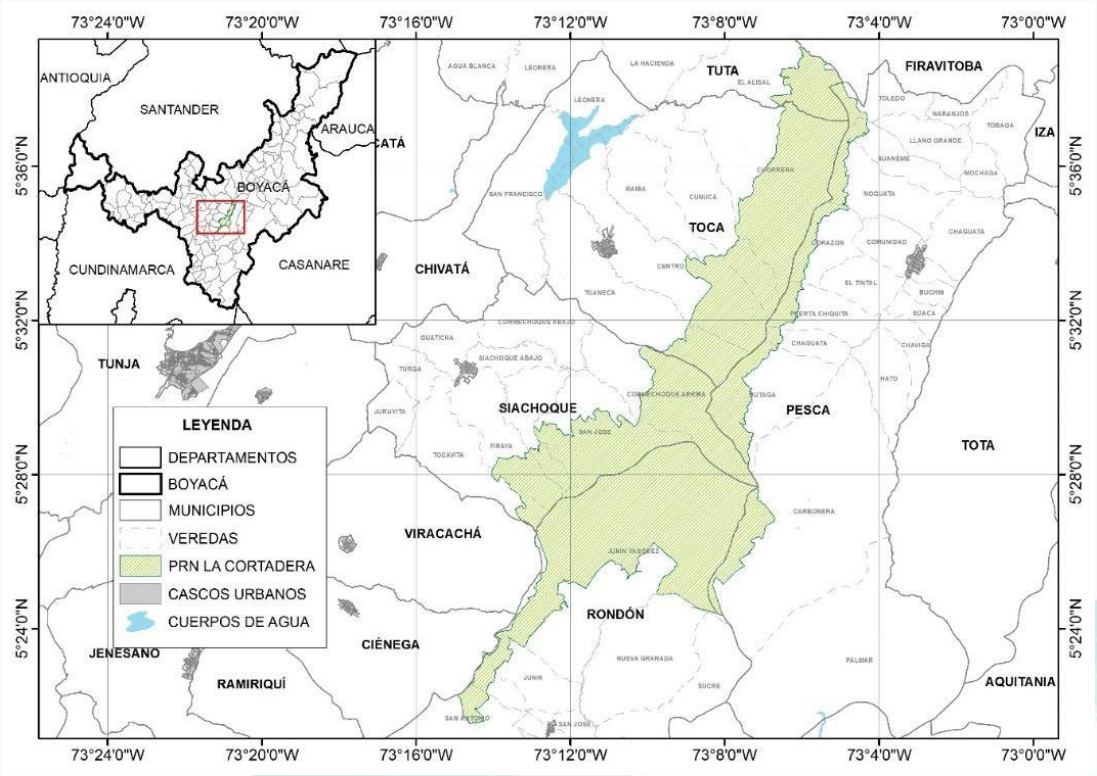


Figura 1. Zona de estudio "Parque regional natural la Cortadera". **Fuente:** adaptado de Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, y Universidad de La Salle (2019).

Estos servicios ambientales pueden englobarse en dos grandes categorías del valor económico (valores de uso y valores de no uso), entre los valores de uso se identificaron los siguientes: uso de suelos para cultivos, uso de agua (consumo y riego), extracción de biomasa, captura de carbono y conservación de biodiversidad. Entre los valores de no uso se identificaron el valor de herencia y de existencia.

Valoración Económica

El referente teórico seguido en este trabajo se basa en el modelo paramétrico de la función de utilidad indirecta de Hanemann (1984), orientado a la obtención de medidas de bienestar Hicksianas obtenidas a partir de un formato de pregunta tipo Referéndum y la función de utilidad indirecta, en la que se incluye la demanda por servicios ambientales, de la siguiente forma:

$$u_i = v_i(p, y; q_i) + e_i; \qquad \forall_i = 0,1 \qquad [1]$$

Donde u_i es la función de utilidad directa no observable; v_i es la función de utilidad indirecta, la cual está en función de p que es el vector de precios, y que es el ingreso familiar, y q que es la calidad ambiental a la cual está sujeto el nivel de utilidad. $j = 0$ denota la condición o situación inicial de la calidad ambiental y $j = 1$ denota una condición posterior (mejora) de la calidad ambiental.

El planteamiento consiste en despejar la Disposición a Pagar, como medida del cambio en el bienestar que se experimenta por pasar de una situación a otra, y engloba en valor económico total, que en este caso sería el valor económico total del Páramo La Cortadera.

Materiales y métodos

Para desarrollare el planteamiento teórico expuesto en el numeral anterior se utilizó una especificación econométrica del Método de Valoración Contingente (MVC), utilizando de base un modelo Probit. Asimismo, para evitar sesgos y los problemas de especificación descritos por autores como Diamond y Hausman (1994), se utiliza formato dicotómico doble, conocido como double bounded (doble límite), el cual consiste en agregar una segunda pregunta sobre disposición a pagar también de tipo dicotómica. El planteamineto metodologico extendido pude ser revisado en detalle en Hanemann, Loomis y Kanninen (1991).

El desarrollo metodológico siguió los siguientes pasos: Se definió el objeto de valoración ambiental delimitado como el Páramo La Cortadera y sus servicios ambientales, especialmente el de captura de carbono. Posteriormente se realizó el diseño del instrumento de encuesta, el cual fue aplicado a la población del área de influencia del Páramo. Se realizó una encuesta piloto el 22 de noviembre de 2019 con el fin de realizar una aproximación al vector de cantidades de pago ofrecidas y definir el tamaño de la muestra final. Se realizó el cálculo del tamaño de muestra óptimo. Se realizó el muestreo por el método de muestreo aleatorio simple (MAS). Con los resultados de las encuestas se realizaron los modelos econométricos utilizando el enfoque de estimación de López (2013) y se realizaron las respectivas pruebas de diagnóstico, finalmente se establecieron las medidas de bienestar (media) de la Disposición A Pagar.

Resultados

Se definió 5 opciones de oferta: $5.000, $01.000, $20.000, $30.000 y $40.000. El 42,4% de los encuestados no está dispuesto a pagar por un programa de conservación del Páramo, mientras que el 57,6% si está dispuesto a pagar.

Tabla 1. Opciones de Disposición a Pagar y porcentaje de aceptación

bid	5,000	10,000	20,000	30,000	40,000	Total
No	34.62	32.35	45.45	51.72	57.14	42.40
Yes	65.38	67.65	54.55	48.28	42.86	57.60
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: elaboración propia

En la tabla anterior se puede apreciar que a pesar de que la mayoría de encuestados si está dispuesto a pagar, estos muestran mucha sensibilidad al monto ofrecido, es decir, que la proporción de individuos que si está dispuesta a pagar disminuya a medida que el monto ofertado se incremente. Del total de las 214 personas encuestadas, cerca de 65% está dispuesta a pagar por la conservación del Páramo La Cortadera cuando el valor ofertado es de $5.000, no obstante, la proporción de personas disminuye a medida que el monto ofertado se incrementa; ante un valor de ofertado de $40.000 la proporción de respuestas "Si" paga disminuye a cerca de 43%.

Para estimar el valor medio de disposición a pagar se utilizó un modelo Probit de doble seguimiento, es decir, utilizando doble pregunta en la disponibilidad a pagar, la pregunta inicial propuesta a cada encuestado "B_i" fue preguntada nuevamente en función de la respuesta de la persona (B_i^d o B_i^u), donde B_i^u es el segundo valor ofrecido después de una respuesta positiva a la primera pregunta (B_i), y B_i^d es el segundo valor ofrecido después de una respuesta negativa a la primera pregunta B_i.

Adicionalmente se utilizaron cuatro variables explicativas adicionales con el fin de controlar la DAP por el género del encuestado, el estado civil, el estado de ocupación y la actividad económica. Se utilizó el comando double propuesto por Alejandro López-Feldman (2013), implementado en el software Stata. Los resultados de la regresión se presentan a continuación.

```
. doubleb bid1 y2 respuesta1 respuesta2 genero ecivil3 ocupac2 activid2

initial:       log likelihood =     -<inf>  (could not be evaluated)
feasible:      log likelihood =  -3245.084
rescale:       log likelihood = -178.45514
rescale eq:    log likelihood = -178.45514
Iteration 0:   log likelihood = -178.45514
Iteration 1:   log likelihood = -178.29347
Iteration 2:   log likelihood = -170.60525
Iteration 3:   log likelihood = -170.19673
Iteration 4:   log likelihood = -170.19462
Iteration 5:   log likelihood = -170.19462

                                                Number of obs   =        124
                                                Wald chi2(4)    =      14.25
Log likelihood = -170.19462                     Prob > chi2     =     0.0066
```

	Coef.	Std. Err.	z	P>|z|	[95% Conf.	Interval]
Beta						
genero	7026.127	4451.96	1.58	0.115	-1699.553	15751.81
ecivil3	-11305.21	4461.835	-2.53	0.011	-20050.24	-2560.175
ocupac2	7423.265	4832.682	1.54	0.125	-2048.617	16895.15
activid2	-8445.846	4212.526	-2.00	0.045	-16702.24	-189.4477
_cons	17447.67	4610.694	3.78	0.000	8410.872	26484.46
Sigma						
_cons	19394.72	2100.566	9.23	0.000	15277.69	23511.76

```
First-Bid Variable:              bid1
Second-Bid Variable:             y2
First-Response Dummy Variable:   respuesta1
Second-Response Dummy Variable:  respuesta2
```

Figura 3. Servicios ambientales identificado por las comunidades en el Páramo La Cortadera". Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 puede observarse el efecto que tienen las variables de control "genero" que captura el efecto sobre la disponibilidad a pagar del género, variable dicotómica que toma valores de 1 si en encuestado es hombre, y 0 si es mujer, "ecivil3" variable dicotómica que toma valor de 1 es el encuestado es casado y 0 en otro caso, "ocupac2" variable dicotómica que toma valor de 1 si el encuestado se encuentra activo laboralmente y 0 en otro caso, y "activid2" variable dicotómica que toma valor de 1 se la actividad económica del entrevistado es agropecuaria y 0 si es comercio, servicios u otra. Se puede observar que los hombres tienen una probabilidad mayor que las mujeres de estar dispuesto a pagar, además, las personas casadas y quienes tienen una actividad económica agropecuaria,

tienen una menor probabilidad de pago que el resto y finalmente las personas ocupadas laboralmente tienen una mayor probabilidad de pago.

	Coef.	Std. Err.	z	P>|z|	[95% Conf.	Interval]
WTP	19824.59	2013.079	9.85	0.000	15879.03	23770.15

Figura 4. Disposición a Pagar promedio. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, con los resultados de la regresión es posible establecer la disposición a pagar promedio mensual, este valor se ubica en $19.824, con un intervalo entre $15.879 y $23.770 (ver figura 4), en otras palabras, la disposición a pagar anual por persona es de $237.888. Finalmente, el Valor Económico Total (VET) es de $677.267.136, es decir que el Valor Económico del Páramo La Cortadera asciende aproximadamente a 677.3 millones de pesos, cifra que representa el beneficio social para las comunidades del área de influencia del Páramo por la prestación de los servicios ambientales que ofrece, como por ejemplo, el servicio de secuestro de carbono.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados econométricos, el modelo doble límite no sólo presenta mayor consistencia teórica, y resultados más robustos, sino que además reporta mayor significancia individual y conjunta de los parámetros. Los resultados evidencias una DAP promedio de $19.824, cifra que refleja el cambio en bienestar. los resultados son consistentes con los referentes teóricos de la valoración económica de bienes y servicios ambientales y la teoría económica, puesto que el signo de la cantidad ofertada es negativo, es decir, que el precio tiene un efecto inverso sobre la probabilidad de una respuesta afirmativa a la disposición a apagar. Finalmente, las comunidades asentadas en el área de influencia del Páramo La cortadera tienen una valoración positiva de los servicios ambientales del Páramo, reconociendo la importancia de éste en la provisión de los servicios ambientales de agua dulce y aire limpio y captura de carbono, lo cual se refleja en el valor económico del Páramo, y en la oportunidad de gestionar rentas públicas a través del mecanismo de bonos de carbono.

Agradecimientos.

Este trabajo contó con la financiación de Colciencias, programa 794-2017 PROYECTOS DE I+D PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE BASE BIOLÓGICA DEPTO BOYACÁ, del Programa Nacional de CTeI: COLOMBIA BIO. Nuestro sincero agradecimiento a Colciencias por su contribución. También se extiende el agradecimiento al equipo de investigadores de la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, y del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle.

Referencias bibliográficas

Azqueta, D. (1994). Valoración económica de la calidad ambiental, McGraw-Hill, Madrid, 299 p.

CORPOBOYACA (2015). Consolidación de la Propuesta de Declaratoria del Área Protegida del Páramo de Cortadera. Subdirección de Planeación y Sistemas de Información. Corpoboyacá, Tunja, 127 p

Diamond, P. & Hausman, J. (1994). Contingent valuation: is some number better than no number? *Journal of Economic Perspectives* 8, 45–64.

Forero, F. E., Cely, G. E, y Palacios, L. S. (2015). Dinámica del páramo como espacio para la captura de carbono. Colección Investigación UPTC N.o 58. Editorial UPTC, Tunja, 144 p.

Hanemann, M., Loomis, J. & Kanninen, B. (1991). Statistical efficiency of double-bounded dichotomous choice contingent valuation. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 73(4). (Nov., 1991), 1255-1263

Karp, L. y Liu, X. (1999). *Valuing Tradeable CO2 Permits for OECD Countries* (Working Paper Series 872). UC Berkeley: Department of Agricultural & Resource Economics.

Larsen, B. y Shah, A. (1994). Global Tradeable Carbon Permits, Participation Incentives, and Transfers. *Oxford Economic Papers*, 46, 841-56.

Lopez-Feldman, A. (2012). Introduction to contingent valuation using Stata. *Munich Personal RePEc Archive (MPRA)*. Paper No. 41018. Recuperado de: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/41018/

Vanegas, T. y Estrada J. E. (2015). Valoración económica de los páramos: Parque de los Nevados. Escuela de Ingeniería de Antioquia. 48 p.

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, y Universidad de La Salle [UPTC]. (2019). Elaboración de un Protocolo Para la Valorización Ambiental, Económica y Jurídica del Servicio Ambiental de Captura de Carbono en Suelos de Páramo en el Departamento de Boyacá: Caso de Estudio Páramo La Cortadera. Informe de Investigación, Primer Informe Trimestral.

IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EL MUNICIPIO DE COTA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

Juan David Bohorquez Otero.

Programa de Ingeniería ambiental y sanitaria, Universidad de LaSalle.

*Autor corresponsal: Bogotá D.C, Universidad de LaSalle, calle 142 # 106-17 apto 102 torre 7– Las flores, Bogotá, Suba, Email: jbohorquez79@unisalle.edu.co

Abstract

This document shows the process carried out in the research carried out in the municipality of Cota in the department of CundinamarcaWhere an agreement was generated between the University of LaSalle and the Cundinamarca government to create strategies for clean up in the upper Bogotá river basin.The environmental strategies focused on productive processes of farmer potatoes, strawberries and livestock, generating an incentive into in the growers' guild, improving production practices supporting decontamination of the river, through the promotion of programs and activities of public interes.

In the investigation and recognition processes in the municipality of Cota / Cundinamarca, the areas of greatest incidence in the Bogotá river basin were located and delimited the identification of the previously identified areas where the health problems could be determined were identified public and pollution of surface and subsurface water sources due to poor production practices and the poor water sewage network on the sidewalks adjacent to the Bogotá river.Developing the Cleaner Production strategies for the production systems, there was continuity in contamination of the reservoirs and sources of water supply for consumption, mainly in the city of "Pueblo Viejo", generating an alternative of water supply for consumption in the use of rainwater.

Keywords: aqueduct, cistern, utilization, pollution, production.

IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EL MUNICIPIO DE COTA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

Resumen.

El presente documento muestra el proceso realizado en la investigación desarrollada en el municipio de Cota en el departamento de Cundinamarca. Donde se generó un convenio entre la Universidad de LaSalle y la gobernación de Cundinamarca para generar estrategias de Producción Más Limpia en la cuenca alta del río Bogotá. Las estrategias ambientales se enfocaron en procesos productivos de papa, fresa y ganadería, generando un incentivo dentro del gremio de los cultivadores mejorando las prácticas de producción apoyando la descontaminación del río, mediante el impulso de programas y actividades de interés público.

En los procesos de investigación y reconocimiento en el municipio de Cota/Cundinamarca, se identificaron y delimitaron las zonas de mayor incidencia en la cuenca del río Bogotá, se realizó la identificación de las zonas anteriormente identificadas donde se pudo determinar las problemáticas en temas de salud pública y contaminación de las fuentes hídricas superficiales y subsuperficiales a causa de las malas prácticas productivas y la deficiente red de acueducto y alcantarillado en las veredas contiguas al río Bogotá. Al desarrollar las estrategias de Producción Más Limpia para los sistemas de producción se dio continuidad en la investigación de la contaminación de los aljibes y fuentes de abastecimiento de agua para consumo principalmente en la vereda de Pueblo Viejo generando una alternativa de abastecimiento de agua para consumo en el aprovechamiento del agua lluvia.

Palabras clave: acueducto, aljibe, aprovechamiento, contaminación, producción.

Introducción.

El presente documento contiene el proceso desarrollado en el municipio de Cota en el departamento colombiano de Cundinamarca, en el cual se generaron estrategias de producción más limpia en cultivos de papa, fresa y ganadería para reducir la contaminación que se genera por la mala utilización de productos químicos (agroquímicos) y la mala disposición de los residuos generados en proceso de cultivo. Contaminación que se refleja principalmente en las fuentes hídricas del municipio las cuales conectan con la vertiente del río Bogotá. Contaminación que afecta directamente las fuentes hídricas superficiales y subsuperficiales donde se abastecen los habitantes de la vereda de Pueblo Viejo donde la red de acueducto presenta deficiencias en la presión de abastecimiento, razón por la cual los habitantes de esta zona se proveen de agua para consumo de aljibes y sistemas rústicos en su construcción, así, se identifica en la investigación generada con ayuda de las entidades del municipio donde se detecto la falta de alcantarillado a causa de que la línea principal se encuentra en cotas mal altas de la ubicación de las veredas continuas al río Bogotá. En estas veredas se implementa pozos sépticos para el tratamiento de las aguas residuales generadas, pozos que se encuentran saturados por el crecimiento demográfico del sector.

El departamento de Cundinamarca se encuentra en el área central del país, sobre la cordillera oriental, y hace parte de la región andina, extendiéndose desde el margen la

oriental del rio Magdalena hasta el piedemonte llanero. Posee el mejor suelo productivo del país en la Sabana de Bogotá. Abordando la temática de la economía nacional y regional, el análisis coyuntural el indicador económico de mayor relevancia corresponde al Producto Interno Bruto (PIB) (Gobernación de Cundinamarca, 2016). Puntualizando, el departamento de Cundinamarca presenta diferentes tipologías de suelos, esto también condicionado a su variado relieve y diversidad en las condiciones agroecológicas. Sin embargo, el 62,4% de la tierra del departamental no tiene restricción legal, pero otra parte, del uso del suelo presenta conflicto por sub-utilización (18,3%), otro 17,1% del total de la tierra tiene restricción legal para actividades agropecuarias (UPRA, 2016). Dentro de los principales productos agrícolas son café, maíz, caña de azúcar, papa, cebada, trigo, yuca, algodón, panela, fresa, entre otros (ICA, 2016). (Universidad de LaSalle; Gobernación de Cundinamarca., 2016).

Justificación.

Los motivos de la presente investigación se generaron a partir de interés por parte de las entidades gubernamentales en el proceso de descontaminación del río Bogotá, en el cual, la Gobernación de Cundinamarca y la secretaria de ambiente con asociación de la universidad de LaSalle desarrollaron estrategias de Producción Mas Limpia en cultivos de papa, fresa y ganadería debido a que son los mas abundantes en la sabana de Bogotá.

Objetivo.

Aunar esfuerzos para la implementación de Estrategias de Producción Más Limpia en la Cuenca Alta del Río Bogotá

Metodología.

Para la generación de las estrategias de producción mas limpia en los sectores productivos de papa, fresa y ganadería se desarrollo en diferentes fases para la recolección y ejecución del proyecto, realizando dos visitas al municipio para recolectar y priorizar la información de las zonas de mayor concentración de zonas ganaderas y pecuarias del municipio, A continuación, se presenta una breve descripción de la metodología implementada para la obtención de información.

La recolección de información se realizó a través de visitas de campo, para este ejercicio se implementó una metodología de investigación - participativa – IP como una estrategia ágil y confiable en la que los diversos actores aportaron su conocimiento, mediante una serie de preguntas realizadas durante la segunda vista de campo por los estudiantes de Ingeniería Ambiental y Sanitaria del semillero de Investigación en Zona Crítica de la Universidad de la Salle. Para la entrevista, se aplicó una encuesta previamente elaborada en la cual se establecieron una seria de preguntas enfocadas a la identificación de aquellas zonas que presentan un mayor impacto sobre el Rio Bogotá dentro del contexto de los sistemas productivos de papa fresa y ganadería. (Universidad de LaSalle; Gobernación de Cundinamarca., 2016)

Definición de áreas de cultivo mediante procesos de interpretación visual.

El proceso de interpretación visual se basó en la extracción de información contenida en imágenes de satélite o fotografías aéreas, mediante la aplicación de técnicas de identificación de las características básicas de los elementos que ellas contienen tales como tono, color, tamaño, textura, forma o patrones espaciales entre otros que permitieron al observador relacionarlos con los objetos del mundo real. (García-Meléndez, 2007).

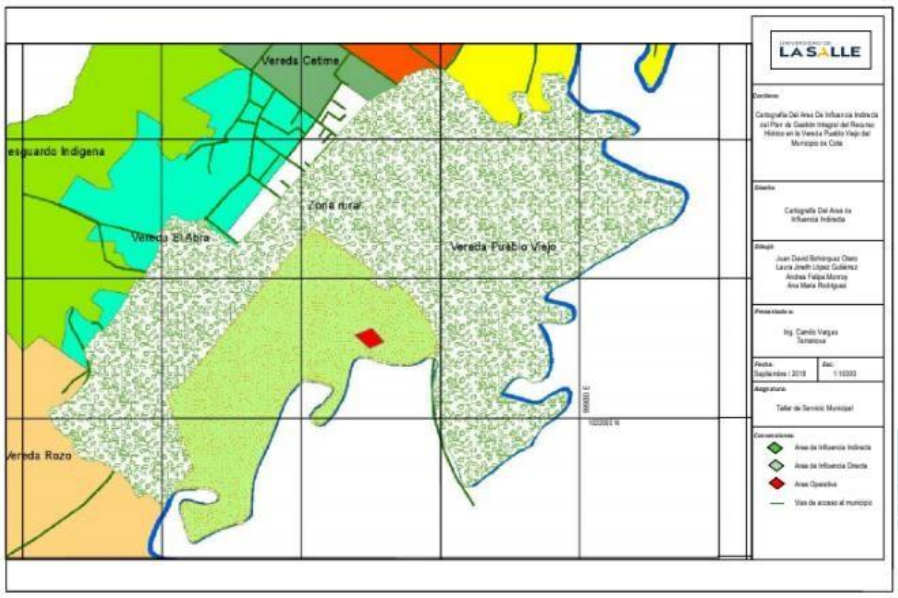


Figura 1. Definición de áreas de cultivo. Fuente: (Otero, Gutierrez, Rivera, & Rivera, 2018).

Al generar la identificación de las zonas de influencia directa e indirecta se presenta a los profesionales agrónomos y ganaderos la recopilación de información adquirida por los auxiliares de investigación para la generación de las estrategias de producción más limpia en los sectores ganaderos y agropecuarios del municipio de Cota. Las problemáticas que se identificaron en el recurso hídrico se estudiaron a fondo por parte del Semillero de Investigación en Zona Critica de la universidad de LaSalle y la asignatura de Taller de Servicio Municipal, desarrollando un procedimiento para la mitigación de las problemáticas en temas de salud publica y aprovechamiento del recurso planteando un sistema

aprovechamiento y abastecimiento de agua para consumo humano, para garantizar que el proyecto se cumpla se divide en tres fases que se presenta a continuación.

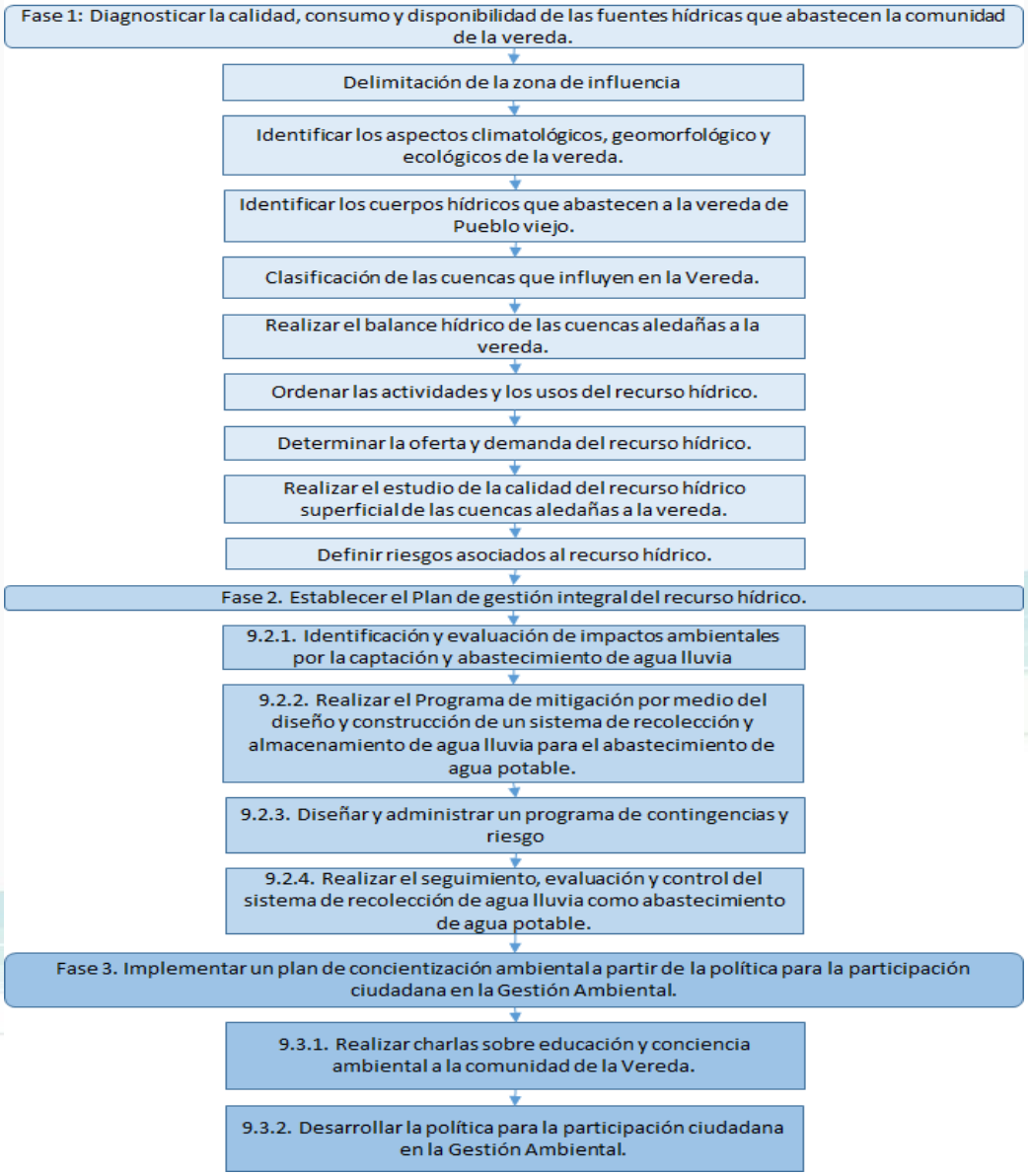


Figura 2. Metodología. Fuente: (Otero, Gutierrez, Rivera, & Rivera, 2018)

Discusión de resultados.

El área de influencia de un proyecto sirve para limitar la responsabilidad de actividades de compensación de algún impacto generado en el desarrollo de este, y evita la adjudicación de impactos que son generados por otros proyectos o por terceras personas en zonas aledañas al lugar donde se va a realizar el proyecto.

El proceso de delimitación se realizó mediante ARCGIS. El uso de este software permite el procesamiento de la información para el área específica de estudio, en este caso, la vereda Pueblo Viejo. Se realizaron diferentes capas según la cartografía que se iba a tener en cuenta para la delimitación de las áreas y después de haberlo delimitado se procedió a hacer el mapeo de las tres áreas.

Tabla 1: porcentajes áreas de influencia

	m2	% del área de influencia
Área operacional	15472.5	0.22
Área influencia directa	1623742	22.81
Área influencia indirecta	7120000	100.00

Fuente: (Otero, Gutiérrez, Rivera, & Rivera, 2018).

El área operativa del proyecto es un 0.22% del área de influencia total, esto debido a que las actividades de aprovechamiento de agua lluvia del proyecto se van a realizar en una pequeña población de la vereda, dejando la opción de que el resto de la vereda pueda hacer este aprovechamiento. el área de influencia directa es el 22.81% del área de influencia total, siendo el área de influencia directa una parte de la vereda Pueblo viejo y elárea de influencia indirecta toda esta vereda y una mínima parte de la vereda El Abra.

Realizando la evaluación de impactos ambientales generados en la zona se encontró que los más significativos se encuentran en el componente agua, debido a que la comunidad ha tenido malas prácticas durante mucho tiempo, ya que han tenido que buscar alternativas de consumo de agua ya que el acueducto no les garantiza el caudal ni la presión suficiente, generando que la comunidad busque soluciones como los aljibes y los pozos sépticos, logrando así contaminar el suelo y el recurso hídrico que se encuentra cerca de la zona.

Gran parte de los problemas ambientales que tiene la comunidad es debido a la poca y nula educación ambiental que tienen. La mayoría de la población se dedica a la agricultura tradicional, actividad que ha pasado de generación en generación, y por ende, sus técnicas de acondicionamiento del suelo, siembra y cosecha, que en su gran mayoría, utilizan agroquímicos son perjudiciales para el medio ambiente. Adicionalmente, debido a la difícil

situación económica que atraviesan, se hace necesario disminuir los costos de producción, por este motivo, utilizan agua del río Bogotá, sin ningún tratamiento, actividad que deja afectaciones de contaminación en el recurso suelo debido a la alta carga contaminante de la cuenca, esta contaminación después es transmitida a los cultivos realizados en este, transportando así los contaminantes a los productos, generando que las personas que los consumen puedan adquirir enfermedades por ellos.

Para suplir la necesidad de agua para uso doméstico, se realizó un sistema de tratamiento de agua lluvia para consumo humano, incentivando así a que dejen de usar los aljibes y busquen otras maneras más limpias y sanas con el medio ambiente para el abastecimiento de agua. Se evaluaron cuatro alternativas siendo la mejor la alternativa la que utiliza un filtro de arena y un filtro de carbón activado para disminuir así los contaminantes que podría tener el agua lluvia. El diseño e implementación del Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico generó unos costos que fueron asumidos por el equipo ejecutor, en estos costos los que tuvieron mayor incidencia en el proyecto, fueron los costos directos, ya que en este se encuentras las compras de mayor valor y el transporte de estas. las materias primas que se compraron para la elaboración del sistema de tratamiento de agua lluvia tienen un gran costo en lo que se hace referencia a las tuberías y estructura metálica.

Tener una estructura detallada de costos permite tomar decisiones acertadas al momento de la planeación, determinando la viabilidad del proyecto, de esa forma, prevenir pérdidas y aumentar la relación costo/beneficio. Es necesario diferenciar los costos directos e indirectos, los directos que son aquellos que guardan una estrecha relación con la producción, en este caso, el aprovechamiento de agua lluvia como agua apta para consumo humano; los costos indirectos se relacionan con el proyecto, pero no con el proceso productivo. El proyecto de aprovechamiento de agua lluvia en la vereda Pueblo Viejo, no generará ingresos directos, pues el agua tratada no será vendida, sin embargo, genera ingresos indirectos para cada habitante de la comunidad, al notar un ahorro de $181 por cada metro cúbico de agua que dejará de ser consumida del acueducto municipal. La vereda Pueblo Viejo generará un ahorro de $781.920 COP anual, que pueden ser destinados a diferentes actividades de recreación y esparcimiento. (Otero, Gutierrez,Rivera, & Rivera, 2018)

El proyecto Diseño e implementación del Plan de Gestión Integral del Recurso hídrico en la Vereda Pueblo Viejo tiene un costo de $ 25.222.040 COP el cual está relacionado con la mano de obra, los materiales, costos directos e indirectos. Esta inversión realizada será recuperada en un periodo de 5 años, después de este tiempo el proyecto empezará a generar ganancias. Es importante que la comunidad siga los pasos del mantenimiento que se le debe hacer al sistema, ya que de no ser así pueden estar generando fallas de este y provocar que no funcione de la manera correcta o en el peor de los casos, debido a un mal uso de la estructura, generar el desplome de este. Teniendo en cuenta esto, se hace necesario que los niños de la zona tengan conocimiento de los riesgos que puede traer que jueguen con esta estructura. (Otero, Gutierrez, Rivera, & Rivera, 2018)

El sistema tiene una vida útil de cinco años, en los cuales se debe estar haciendo el mantenimiento y monitoreo requerido, sin embargo, esto no significa que a los cinco años no pueda seguir funcionando, ya que puede hacerlos siempre y cuando se haga un estudio del estado de cada una de las operaciones y de la estructura, para conocer si es necesario reemplazar alguna de estas.

Conclusiones.

Al realizar el Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico en la vereda Pueblo Viejo del municipio Cota Cundinamarca, se concluyó que la identificación del área operativa sirve para visualizar gráficamente la ubicación de la comunidad y las problemáticas en temas de saneamiento básico que durante muchos años las autoridades locales no han solucionado, y por ende, los habitantes se han visto obligados a buscar soluciones, como el abastecimiento de agua a través de fuentes subterráneas, y la construcción de pozos sépticos.

El estudio de la vereda Pueblo Viejo, área de influencia indirecta, puede servir como fuente de información primaria para futuros proyectos a realizarse en la zona, de modo que se evite el desarrollo de actividades que amenacen el desarrollo sostenible de la población y que al contrario se tenga un correcto manejo del recurso hídrico en la vereda.

Para lograr la participación de la comunidad y conocer el perfil de la población, la selección de técnicas etnográficas y estrategias participativas debe hacerse de acuerdo con las características de la población que es objeto de estudio: una correcta selección de estas técnicas y herramientas garantizará la obtención de información de forma adecuada, con un bajo rango de incertidumbre.

Al realizar el Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico en la vereda Pueblo Viejo del municipio Cota Cundinamarca, se concluyó que la identificación del área operativa sirve para visualizar gráficamente la ubicación de la comunidad y las problemáticas en temas de saneamiento básico que durante muchos años las autoridades locales no han solucionado, y por ende, los habitantes se han visto obligados a buscar soluciones, como el abastecimiento de agua a través de fuentes subterráneas, y la construcción de pozos sépticos.

Referencias bibliográficas.

Otero, J. D. (s.f.).

Otero, J. D., Gutierrez, L. J., Rivera, A. F., & Rivera, A. F. (2018). Diseño e implementación del Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico en la Vereda Pueblo Viejo en el municipio Cota, Cundinamarca. Bogotá.

Universidad de LaSalle; Gobernación de Cundinamarca. (2016). estrategias-de-produccion-mas-limpia-en-la-cuenca-alta-del-rio-bogota. Bogotá.

Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Boletin agrario. (s.f.). Boletinagrario.com. Obtenido de sistemas lenticos : https://boletinagrario.com/ap-6,sistemas+lenticos,4159.html

Cap-Net; Global water partnership; UNDP. (s.f.). Planes GIRH. Obtenido de IDEAM.gov.co.

Copyright IBM Corporation. (2010-1014). IBM Nowledge Center . Obtenido de Zonas de influencia : https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS3J58_9.0.8/com.ibm.i2.anb.esri.doc/working_with_the_draw_buffer.html

Ecopetrol. (s.f.). Elabore su plan de ahorro y uso eficiente del agua . Obtenido de información general: https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/contratistas/informacion-general/noticias/2015/2015/Elaboresuplandeahorroyusoeficientedelagua

Ecured . (s.f.). Cuenca hidrográfica . Obtenido de Ecured : https://www.ecured.cu/Cuenca_hidrogr%C3%A1fica

Flores, A. V. (s.f.). Red de multiservicios regionales . Obtenido de http://www.rmr-peru.com/hidroponia.htm

Secretaria distrital de ambiente . (s.f.). Recurso hídrico subterráneo . Obtenido de secretaria distrital de ambiente : http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas

SIAC. (s.f.). Sistema de Información Ambiental de Colombia .

Universidad cooperativa de Colombia . (s.f.). Sistema de gestión ambiental . Obtenido de universidad cooperativa de Collombia : https://www.ucc.edu.co/gestion-integral/Paginas/inicio.aspx

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Politica nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Obtenido de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf

Agradecimientos.

Agradezco a la doctora Rosalina Gonzales por el apoyo, acompañamiento y guia en toda la carrera y en todos los proyectos que desempeñe de la mano de ella, ya que es una excelente profesional donde se evidencian los valores y el amor por su profesión y el amor que tiene para enseñar todo su basto conocimiento.

PROGRAMA "VISCER" EN EL DESARROLLO DE ACTITUDES DE JEFES Y JEFAS DE FAMILIA HACIA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD DE ACHIPAMPA, DISTRITO DE YANACANCHA, PROVINCIA D CHUPACA, REGIÓN JUNÍN

M. L. Vila[1*], V. G. Limas[1], R.P. Palomino[1], M. Custodio[2]

[1] Centro Ecuménico de Promoción y Acción Social Centro.

[2] Universidad Nacional del Centro Del Perú

* Autor corresponsal: Área de desarrollo rural sostenible, Centro Ecuménico de Promoción y Acción Social Centro, Jr. Ayacucho 690, Huancayo, Junín, Perú, Email: lvila@cedepas-centro.org

Abstract

This article presents some reflections on the "Healthy Housing with Renewable Energy" (VISCER) program approach; whose purpose is to strengthen environmental sustainability in high Andean areas, in order to contribute to the improvement of their living conditions. This requires changing attitudes of the heads of households in relation to knowledge management, resource conservation, reuse, economic growth and state policies. The proposal for the development of attitudes, which considers the understanding of the social, economic, environmental and public policy dimension that guarantees environmental sustainability in communal territories. The methodology applied for the understanding of the dimensions is based on the selection of the universe of families from the Achipampa community, Yancancha District, Chupaca Province, Junín Region. The sample was made up of heads and heads of families with renewable energy technologies and without access to them. Considering the "VISCER" program approach.

The application of the "VISCER" program has promoted in the heads of households the improvement of their attitudes towards environmental sustainability; expressed in cultural practices such as the selection of solid waste, water and soil care, reforestation, use of solar thermal energy and development of investment proposals, in addition to promoting a harmonious interaction in the individual, family and community.

Key Words: attitudes, environmental sustainability, peasant families, "VISCER" Program,

PROGRAMA "VISCER" EN EL DESARROLLO DE ACTITUDES DE JEFES Y JEFAS DE FAMILIA HACIA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD DE ACHIPAMPA, DISTRITO DE YANACANCHA, PROVINCIA DE CHUPACA, REGIÓN JUNÍN.

Resumen

Este artículo presenta algunas reflexiones sobre el enfoque del programa "Viviendas saludables con energías renovables" (VISCER); cuya finalidad es afianzar la sostenibilidad ambiental en zonas alto andinas, a fin de contribuir a la mejora de sus condiciones de vida del poblador. Para ello se requiere de cambio de actitudes de los jefes y jefas de familias en su relación a la gestión del conocimiento, conservación de los recursos, reutilización, crecimiento económico y políticas de estado. La propuesta para el desarrollo de actitudes, que considera el entendimiento de la dimensión social, económica, ambiental y política pública que garanticen la sostenibilidad ambiental en territorios comunales. La metodología aplicada para la comprensión de las dimensiones se basa en la selección del universo de familias de la comunidad de Achipampa, Distrito de Yancancha, Provincia de Chupaca, Región Junín. La muestra estuvo conformada en por jefas y jefes de familias con tecnologías de energías renovables y sin acceso a ellas. Considerando el enfoque del programa "VISCER".

La aplicación del programa "VISCER" ha promovido en los jefes y jefas de familias la mejora de sus actitudes respecto a la sostenibilidad ambiental; expresados en prácticas culturales como la selección de residuos sólidos, cuidado del agua y suelos, reforestación, uso de la energía termo solar y elaboración propuestas de inversión, además de promover una interacción armoniosa en el ámbito individual, familiar y comunal.

Palabras clave: actitudes, familias campesinas, programa "VISCER", sostenibilidad ambiental.

Introducción

La necesidad de promover cambios hacia entornos saludables exige desarrollar capacidades para armonizar las condiciones sociales, políticas, económicas y ambientales que garanticen el bienestar de las futuras generaciones en las comunidades alto andinas. El análisis del universo de la comunidad de Achipampa, muestra la influencia favorable de las actitudes de jefes y jefas de familias hacia la sostenibilidad ambiental, generando actitudes vivenciales para la trascendencia cultural a nivel individual y colectiva en condiciones de alta vulnerabilidad climática.

Las razones que motivaron la investigación se establece en La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, señalados en los objetivos 7, 13 y 15; que sintetizados y valorados promueven la sostenibilidad del medio ambiente , con acciones urgentes de acceso a energía sostenible, medidas urgentes ante el cambio climático y finalmente garantizar el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, (ONU, 2015b). El informe del CEPAL (2019) precisa que existen avances significativos en el acceso a energía eléctrica sin embargo muy poco se ha avanzado en dinamizar la fuente y mecanismos alternativos que permitan reducir los efectos del cambio climático afectando significativamente los ecosistemas, evidenciándose en la pérdida de la biodiversidad, por lo que requerimos urgentes capacidades y políticas eficientes que mitiguen estas limitaciones.

Así mismo en el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo del Milenio, Objetivo 7 especifica “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente” para el cual se ha establecido la meta de incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales e invertir la pérdida de recursos del medio ambiente (ONU, 2015a).

Se señala que la población adulta del condado de Huelva, España, presenta niveles muy bajo de conocimiento sobre problemática ambiental; lo que induce a la comprensión que sus experiencias, como sus conocimientos, no presenta que haya un nivel adecuado de concienciación ni sensibilización (Rodríguez, 2009). Según Álvarez (2009) Las implicaciones para la educación ambiental sugiere que la capacidad es innata, no existe el gen de la participación o de trasmisión innata de los saberes, de ahí, lo eficaz para consolidar los conocimientos aprendidos y adquirir hábitos sostenibles, será posible generando experiencias individuales como colectivas. Este avance sugiere medir las actitudes, motivación y compromisos orientados a la problemática ambiental señalados por Condor (2014).

Chocas et al. (2013) . Al sistematizar el programa PROGESA, concluye que el programa influye en el desarrolla actitudes y comportamientos, hacia un uso sostenible del agua en los niños, y a través de ellos sus padres, también confirma que la población que a pesar de poseer información y conocimiento del problema, esta no se refleja en sus acciones colectivas, lo que es compartido con Llallico y Basilia (2018) quienes al analizar las actitudes y sostenibilidad ambiental en los habitantes del distrito de Pilcomayo – Junín, concluyendo que existe una relación significativa.

Chalco (2012) en su investigación Actitudes hacia la conservación del ambiente en alumnos de secundaria de una institución educativa de ventanilla, muestran las brechas existentes entre los contenidos pedagógicos sobre educación ambiental impartida, con los niveles de conocimiento y sus actitudes, orientadas a la conservación del ambiente. Situación que induce a seguir trabajando en las actitudes y comportamiento, no solo en estudiantes, sino principalmente en otros sectores sociales. Zuta y Gago (2011) explicitan que el programa “Vida” para el desarrollo de actitudes, influyó significativamente en estudiantes de nivel superior en la construcción de actitudes para la sostenibilidad ambiental. La comprobación estadística evidencio, que el Programa “Vida” no solo favoreció la construcción de actitudes ambiental en dichos estudiantes, sino que los incrementó favorablemente.

El análisis documentario ha facilitado la comprensión que, para armonizar la sostenibilidad ambiental, es necesario valorar las dimensiones sociales, político, económica y ambiental. Con estos aportes se ha diseñado instrumento de monitoreo y evaluación para determinar el cambio de actitudes planteados por el programa “VISCER”. Sus logros evidencias avances significativos en el desarrollo de actitudes hacia la sostenibilidad ambiental de los jefes y jefas de familias de la comunidad campesina de Achipampa, Distrito de Yancancha, provincia de Chupaca, región Junín.

Material y Métodos

La investigación aplicada ha utilizado el diseño cuasi experimental, longitudinal, prospectivo; porque se realizó dos mediciones antes y después de la intervención. Esta investigación considero a los beneficiarios del programa "VISCER" en dos grupos i) grupo experimental que acceden a capacitación y tecnologías renovables y ii) grupo control que no acceden.

La población objetiva está conformada por 60 jefes y jefas de familias campesinas de la comunidad de Achipampa, distrito de Yancancha, Provincia de Chupaca, Región Junín. La muestra estuvo representada por 24 jefes y jefas de familia a los que se aplicó elinstrumento de evaluación de actitudes hacia la sostenibilidad ambiental y un grupo focal con una guía de entrevista sobre sus actitudes desarrolladas.

La variable independiente es la aplicación del programa "VISCER" en los jefes y jefas de familias; mientras que la variable dependiente está definida por desarrollo de las actitudes hacia la sostenibilidad ambiental.

Los instrumentos de recolección y análisis de datos fueron un cuestionario sobre actitudes hacia la sostenibilidad ambiental, el programa Microsoft office Excel y el programa informático IBM SPSS V22.

El cuestionario permite valorar el desarrollo de actitudes hacia la sostenibilidad ambiental a partir del análisis de 04 dimensiónes: social, política, económica y ambiental, con 31 items que responden a indicadores residuos sólidos, cuidado del agua y suelos, reforestación, uso de la energía termo solar y elaboración propuestas de inversión ambiental, clasificados en cinco categorías tales son: Totalmente desinteresada, desinteresada, no opina, interesada y totalmente interesada.

El programa "VISCER" permite la evaluación de las actitudes hacia la sostenibilidad ambiental y está integrada por 20 sesiones de aprendizaje participativos mensuales, 04 talleres prácticos de instalación, manejo y mantenimiento de tecnologías renovables (terma solar, fitotoldos, cocinas mejoradas) únicamente al grupo experimental durante un periodo de 2 años.

Resultados

Como se puede evidenciar en la Figura 1, los resultados en el pre test, tanto en el grupo de control como en el experimental son muy similares, excepto en la categoría totalmente interesada donde el grupo control no presenta ningún valor, sin embargo, la mayor concentración se encuentra en la categoría indiferente o no opina con un 47 % en el grupo experimental y 57 % en el grupo control, por lo que se deduce ambos grupos evidencia una predisposición al cambio definiendo la característica de grupos homogéneos.

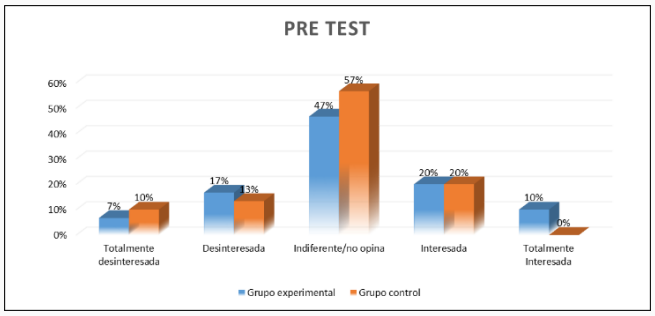


Figura 1. Análisis de pre test de las actitudes ambientales de los jefes y jefas de familia de la comunidad de Achipampa.

Seguidamente observamos en la Figura 2, los resultados en el post test, tanto en el grupo de Control como en el Experimental son similares, Se observa que las categorías interesadas tienen porcentajes de 53% de grupo experimental y 60% del grupo control. Así mismo la categoría totalmente interesada se ha incrementado en ambos grupos en un 13 y 7% respectivamente, estos resultados evidencian que las actitudes del grupo control se han incrementado a razón del grupo experimental por las expectativas y beneficios observados en el programa “VISCER”.

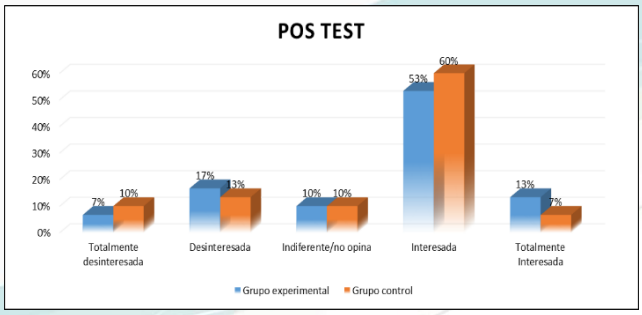


Figura 1. Análisis de post test de las actitudes ambientales de los jefes y jefas de familia de la comunidad de Achipampa.

Respecto a la prueba de hipótesis: El Programa Experimental “VISCER” para el desarrollo de actitudes influye significativamente en la Sostenibilidad Ambiental en los jefes y jefas de familias de la comunidad campesina de Achipampa, Distrito de Yanacancha, provincia de Chupaca, región Junín en el 2019; el tipo de prueba que se utilizó fue el unilateral y de cola a la derecha; nivel de significancia a=0,05. El estadígrafo de Prueba más apropiado para este caso fue la Prueba t, puesto que los grupos son mayores a 30 individuos, siendo esta de -4,64 < 1,96, por lo tanto como la ch2 calculada cae en la zona de rechazo, se rechaza la Ho y se acepta la hipótesis alterna H1; se concluye afirmando que el Programa Experimental “VISCER” para el desarrollo de las actitudes influyo significativamente en la Sostenibilidad Ambiental en los jefes y jefas de familias de la comunidad campesina de Achipampa, Distrito de Yanacancha, provincia de Chupaca, región Junín, en el 2019;

Recomendación

Las observaciones en la investigación garantizan el planteamiento de las siguientes recomendaciones, las cuales podrían ser tomadas en cuenta a la hora de investigar o implementar un plan para mejorar el desarrollo o consolidación de actitudes hacia la sostenibilidad ambiental en comunidades alto andinas.

A los autoridades locales y comunales se sugiere la implementación y desarrollo de planes institucionales con enfoque de cambio de actitudes ambientales que comprenden; los componentes social, político, económico y ambiental que permita cerrar brechas de acceso a energías renovables, mitigación y adaptación al cambio climático y protección de los ecosistemas que garanticen los compromisos con las futuras generaciones.

A gobierno local y regional se señala que el avance significativo del acceso a energía eléctrica alcanzado corre el riego de ser afectado por los efectos negativos del cambio climático, por tanto, es necesario poner énfasis en el plan de implementación de acceso a energías alternativas que garantice la seguridad energética de las comunidades alto andinas.

Desarrollar y validad el programa “VISCER” como alternativa en la gestión del conocimiento y uso de energías renovables hacia la sostenibilidad ambiental de territorios comunales.

Referencias bibliográficas

Chalco 2012. (s. f.). Recuperado 7 de marzo de 2020, de http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/123456789/1132/1/2012_Chalco_Actitudes-hacia-la-conservaci%C3%B3n-del-ambiente-en-alumnos-de-secundaria-de-una-instituci%C3%B3n-educativa-de-Ventanilla.pdf

Chocas, L. Y., LLacuachaqui, E. N., García, L. N., Asto, E. J., Sanabria, J. A., & Campos, A. Y. (2013). Actitudes y comportamiento para el uso sostenible del agua en pobladores de Huancayo. Apuntes de Ciencia & Sociedad, 3(1). https://doi.org/10.18259/acs.2013006

Llallico, S., & Basilia, M. (2018). Actitudes y sostenibilidad ambiental en los habitantes del distrito de Pilcomayo – Junín. Universidad Nacional del Centro del Perú. http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/714791

ONU. (2015a). Objetivos de Desarrollo del Milenio (Catharine Way). http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2015/Spanish2015.pdf

ONU. (2015b). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/70/1, 40. https://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares70d1_es.pdf

Rodriguez, A. (2009). Familia rural, valores ambientales y sostenibilidad. Un estudio de educación ambiental en el Condado norte de Huelva, España. https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/Investigar%20para%20avanzar_tcm30-169410.pdf

Zuta, M. C., & Gago, D. O. (2011). Programa “Vida” para el desarrollo de actitudes en la sostenibilidad ambiental en estudiantes de la Universidad Alas Peruanas—Filial Huancayo. Apuntes de Ciencia & Sociedad, 1(2), Article 2. http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/33

MATERIALES DE REFERENCIA CERTIFICADOS: HERRAMIENTAS ANALÍTICAS PARA MEJORAR LAS MEDICIONES DE CALIDAD DEL AGUA

Gina Alexandra Torres López[1*], Diego A. Garzón Zuluaga[1], Johanna Paola Gamba Abella[1], Diego A. Ahumada Forigua[1].

[1]Grupo de Investigación en Metrología química y Bioanálisis. Subdirección de Metrología Química y Biomedicina, Instituto Nacional de Metrología de Colombia

*Autor corresponsal: Subdirección de Metrología Química y Biomedicina, Instituto Nacional de Metrología de Colombia, Av. Cra 50 No 26-55 Int. 2 - CAN, Bogotá, Colombia. 111321 Email: gatorres@inm.gov.co

Abstract

The agricultural and urban development as well industrial activities have severely affected the water quality in the worldwide. Likewise, water is important for life and an important source of intake of some elements by humans. In this context, is essential evaluate the quality of the water through of the analytical determination of some elements, applying to the measurements the necessary tools that control the quality of the results. Results obtained by different measurement procedures for the same element must be comparable, and that it is possible thanks to the use of certified reference materials (CRM) by the laboratories. This paper presents some of the results obtained in the development of a different certified reference materials related with elements such as Na, Ca, K, Mg, among. The characterization of these materials was carried out through atomic absorption, ICP-MS and ion chromatography. The assessment of the homogeneity and stability studies were carried out according to guide ISO 35 (2017) and the stability studies were carried out using isochronous designs. The uncertainty evaluation associated with the homogeneity and stability showed acceptable results for all of CRMs and it was found that all CRMs presents expanded uncertainties between 0.9% and 1 %, which makes it suitable for the intended use.

KeyWords: metrological traceability, reference material, water quality

MATERIALES DE REFERENCIA CERTIFICADOS: HERRAMIENTAS ANALÍTICAS PARA MEJORAR LAS MEDICIONES DE CALIDAD DEL AGUA.

Resumen

El desarrollo agrícola y urbano y las actividades industriales, han afectado significativamente la calidad del agua en todo el mundo. Asimismo, es reconocido que el agua es importante para la vida y una de las fuentes más importantes de algunos elementos que requieren las personas en su ingesta. En este contexto, es esencial evaluar la calidad del agua mediante la determinación analítica de algunos elementos, aplicando a las mediciones las herramientas necesarias que permitan asegurar la calidad de los resultados. En este sentido, cuando se aplican diferentes procedimientos de medición para cuantificación del mismo elemento, los resultados obtenidos deben ser comparables, lo cual se logra a través del uso de materiales de referencia certificados (MRC) por parte de los laboratorios. Este artículo presenta algunos de los resultados obtenidos en el desarrollo de diferentes materiales de referencia certificados relacionados con elementos como Na, Ca, K, Mg, entre otros. La caracterización de estos materiales se realizó mediante absorción atómica, ICP-MS y cromatografía iónica. La evaluación de los estudios de homogeneidad y estabilidad se realizó de acuerdo con la guía ISO 35 (2017), y los estudios de estabilidad se realizaron a través de diseños isócronos. Los resultados indicarón que la incertidumbre asociada con la homogeneidad y la estabilidad mostró resultados aceptables para todos los MRC. La incertidumbre expandida del material producido presenta incertidumbres entre el 0.9% y 1%, lo que los hace adecuados para el uso previsto.

Palabras clave: Trazabilidad metrológica, materiales de referencia, calidad de agua

Introducción

Es un hecho que el agua es esencial para toda la vida en la tierra. El 97 % del agua de la tierra se encuentra en los océanos. Otra fracción se encuentra como vapor de agua en la atmosfera, en estado sólido en casquetes polares, como agua superficial en lagos, ríos y en acuíferos subterráneos (Manahan, 2001). Es así como, dependiendo de su origen y de su uso, se han establecido parámetros de control para propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Los cuales definen los requisitos para el agua potable, agua residuales domésticas o industriales.

Debido a las características particulares del agua, especialmente por su momento dipolar y capacidad como disolvente, en los diferentes tipos de agua se encuentran disueltos iones como Na, K, Mg, Ca, Zn y Fe, que determinan diferentes propiedades. Por ejemplo, la dureza del agua está determinada por la presencia de iones divalentes como Ca^{2+}, Mg^{2+} y Fe^{2+} y su interacción con iones HCO_3^- y CO_3^{2-}(Cheremisinof, 2002). Adicionalmente, estos iones son importantes para la vida humana y juegan un papel importante en las funciones metabólicas (Biziuk y Kuczynska, 2007), por lo que son considerados como macronutrientes (Ca, Na, K y Mg) y como micronutrientes (Fe, Cu y Zn) (Navarro y Rohan, 2007). Por todo lo anterior, Colombia ha reglamentado los límites máximos permitidos –LMP- en agua potable y agua embotellada de estos iones y cuenta en la actualidad con la resolución 2115 de 2007 en la cual se establecen los LMP para Ca, Fe, Mg y Zn para agua de consumo humano y, con la resolución 12186 de 1991(2007) que establece los límites para Fe, Mg, Na y Zn en agua potable tratada con destino al consumo humano.

El control de estos elementos y el soporte al cumplimiento de la regulación, se realiza a través de mediciones analíticas, a través del empleo de diferentes técnicas analíticas como lo son: absorción atómica, plasma acoplado inductivamente, espectrofotometría, entre otras. Todas estas técnicas tienen en común que se debe realizar un proceso conocido como calibración analítica, el cual es una de las principales fuentes de incertidumbre en este tipo de mediciones. En consecuencia, es indispensable contar con Materiales de Referencia Certificados que permiten asegurar la calidad de la calibración analítica y garantizar la trazabilidad metrológica de las mediciones, así como su comparabilidad. En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos en la preparación y caracterización de seis materiales de referencia que se han producido en el Instituto Nacional de Metrología de Colombia.

Materiales y metodología

Instrumentos

Se empleó un plasma acoplado inductivamente con detector de espectrometría de masas (ICP-MS) NexION 300D ICP-MS (Perkin Elmer). El plasma se generó empleando una potencia de 1600 W, un flujo de Argón de 15 L/min, un flujo de gas auxiliar de 1.2 L/min y un flujo de gas de nebulización de 0.52 L/min. Se empleó un espectrómetro de absorción atómica (AAS) PinAAcle 900T (Perkin Elmer). La medición de Na, K, Mg, Fe y Zn, se realizó mediante el modo llama (FAA) empleando la mezcla de combustión aire /acetileno, para Ca se realizó con óxido nitroso/acetileno. Por último, se empleó un cromatógrafo iónico (CI) capilar Thermo Scientific-Dionex ICS 5000+ equipado con un supresor en modo de recirculación externo y un detector de conductividad. Se introdujeron 0.4 µL de la muestra, con un flujo de fase móvil de 0.01 mL/min.

Obtención del candidato a material de referencia

Para la preparación de los materiales de referencia, se empleó agua Tipo I, ácido nítrico subdestilado y, metales y sales de alta pureza: KCl, NaCl, $CaCO_3$, $MgCO_3$, Fe y Zn metálico. Toda la prepración se realizó de manera gravimétrica mediante el empleo de una balanza Mettler Toledo XPE-204 (resolución 0.1 mg) y una báscula Mettler Toledo KCC-150 (resolución 0.001 kg).

La preparación de las disoluciones calibrantes de Ca y Mg se realizó con un proceso de pesado de la sal y posterior disolución en ácido nítrico concentrado. Esta disolución de dejó en calentamiento a 60°C por 12 horas aproximadamente. Por su parte, la preparación de la disolución calibrante de K y Na, se inició con un proceso de disolución de las respectivas sales, haciendo uso de agua tipo I. Por último, la preparación de los calibrantes de Fe y Zn se realizó a través de la disolución del metal con ácido nítrico subdestilado. Una vez disueltos los elementos, en todos los casos, se realizó la transferencia cuantitativa y dilución con agua tipo I hasta obtener una concentración de 1000 mg/kg aproximadamente. Finalmente, la disolución se homogenizó y envasó en botellas de PEAD, previamente lavadas, las cuales se llenaron con aproximadamente 100 mL de la disolución de cada

calibrante. Cada botella se empacó al vacío en una bolsa transparente y está a su vez fue empacada en bolsas metalizadas.

Estudio de homogeneidad y estabilidad

Para el estudio de homogeneidad, se seleccionaron doce botellas mediante muestreo aleatorio estratificado (ISO 35, 2017). El análisis de homogeneidad se hizo mediante CI para Na, K, Ca y Mg y para Fe y Zn por FAA. La incertidumbre asociada a la heterogeneidad del material (u_{hom}) se puede expresar mediante la Ecuación 1 (Kiełbasa, et al.2016)

$$u_{hom} = \sqrt{u^2_{bb} + u^2_{wb}} \qquad \textbf{Ecuación (1)}$$

Donde u_{bb} corresponde a la incertidumbre debida a la variación entre unidades y u_{wb} corresponde a la incertidumbre asociada a la variación dentro de la unidad, las cuales se estimaron a través de un análisis de varianza (ANOVA). Se realizaron quince mediciones aleatorizadas por cada botella.

Por otro lado, para los estudios de estabilidad (corto y largo plazo), se emplearon diseños isócronos en los cuales la temperatura de referencia fue -20 °C (ISO 35, 2017). Las unidades para estos estudios fueron seleccionadas de manera aleatoria. El estudio a corto plazo consistió en mantener las botellas en una cámara climática (Daihan Scientific, referencia STH-E800), la cual operó a 40 ºC y 80% de humedad relativa. La duración de estudio correspondió a 8 semanas, en el cual se tomaron dos botellas cada cinco días, las cuales se almacenaban a la temperatura de referencia. El estudio a largo plazo consistió mantener las unidades en condiciones ambientales y mensualmente, durante 12 meses, seleccionar aleatoriamente dos botellas y almacenarlas a la temperatura de referencia. Cuando se tuvieron todas las unidades para cada uno de los estudios se dejaron alcanzar temperatura ambiente y se midieron en condiciones de repetibilidad mediante ICP-MS o FAA.

Caracterización y asignación de valor

Para la caracterización de la propiedad a certificar se empleó la aproximación de diferentes técnicas analíticas (ISO 17034, 2016). Para esto, se realizaron como mínimo siete mediciones con cada una de las técnicas, en condiciones de repetibilidad (empleando una botella diferente para cada técnica); lo anterior se repitió tres veces en diferentes días y con diferentes calibraciones analíticas.

Una vez se obtuvieron los resultados de cuantificación mediante cada una de las técnicas, se realizó la combinación del valor y estimación de incertidumbre.

Resultados y discusión

A continuación, se presentan algunos de los resultados más relevantes del proceso de certificación en sus etapas más relevantes.

Envasado y estudio de homogeneidad

A través del estudio de homogeneidad, se busca evaluar la equivalencia o el grado de variación entre todas las unidades preparadas, además de detectar posibles procesos no deseados tales como contaminación cruzada y deriva o "arrastre" que se puedan llevar a cabo durante el envasado. En este sentido, la Figura 1 muestra el comportamiento de la respuesta instrumental (relativa) en la evaluación de cada una de las botellas seleccionadas en algunos de los lotes producidos. En esta figura, se encuentra que, para ninguno de los lotes se presenta un comportamiento o tendencia que indique que existieron problemas en el proceso de producción; indicando que la preparación del lote fue adecuada. Por su parte, la Figura 2, presenta las incertidumbres estándar obtenidas para cada uno de los materiales, las cuales fueron estimadas acorde con las recomendaciones de la guía ISO 35 (2017). Por otro lado, en esta figura se puede apreciar que para todos los casos la incertidumbre asociada a la homogeneidad es inferior al 0.5%.

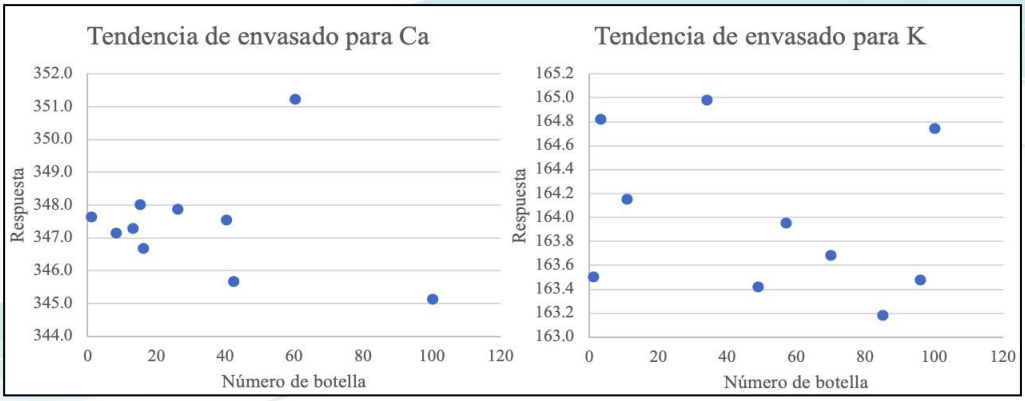


Figura 1. Variación de la composición en función del orden de llenado (1 primera botella, 100 última botella).

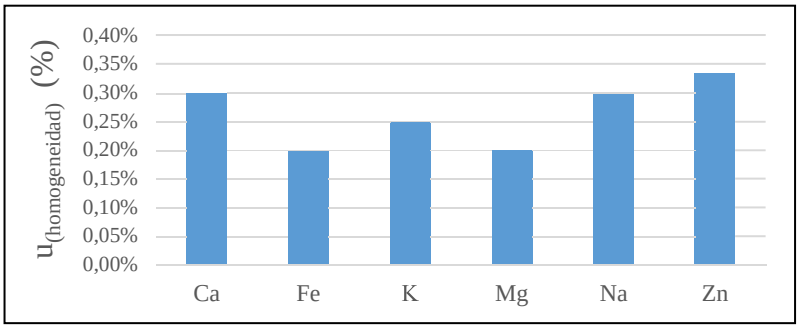


Figura 2. Incertidumbres por homogeneidad (%) obtenidas para cada uno de los lotes producidos.

Estudio de estabilidad

De acuerdo con la guía ISO 35(2017), el estudio de estabilidad busca establecer posibles cambios que pueda tener el material, específicamente en la propiedad certificada, durante el periodo de vigencia. Estos posibles cambios, se incluyen dentro de la incertidumbre del valor certificado a través de dos principales componentes: (i) estabilidad a corto plazo y (ii) estabilidad a largo plazo. En este sentido, la Figura 3, presenta algunos de los resultados que se obtuvieron en los estudios a corto plazo. Por su parte la Figura 4, presenta los resultados de estabilidad a largo plazo (12 meses). En estas figuras, se observa que no se tiene ninguna tendencia que indique cambios en la concentración del material.

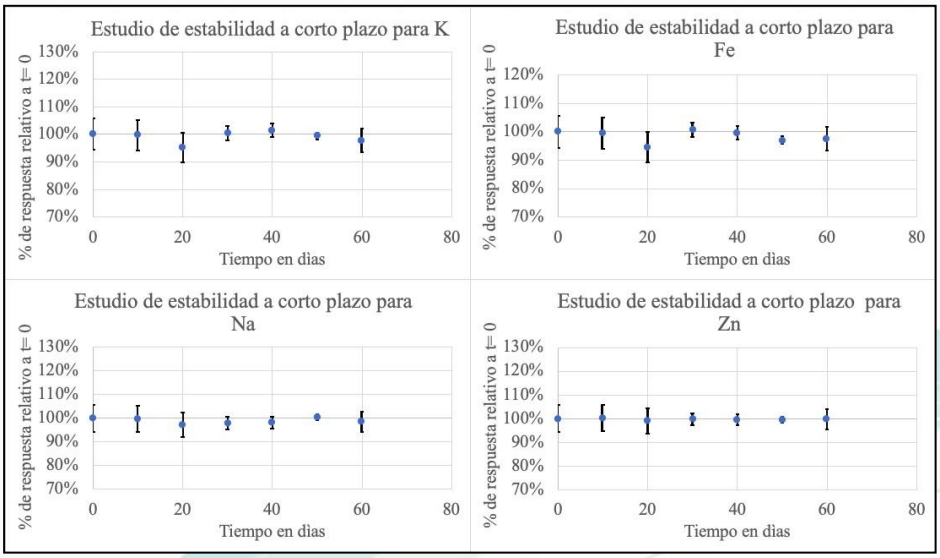


Figura 3. Estudio de estabilidad a corto plazo para las soluciones calibrantes.

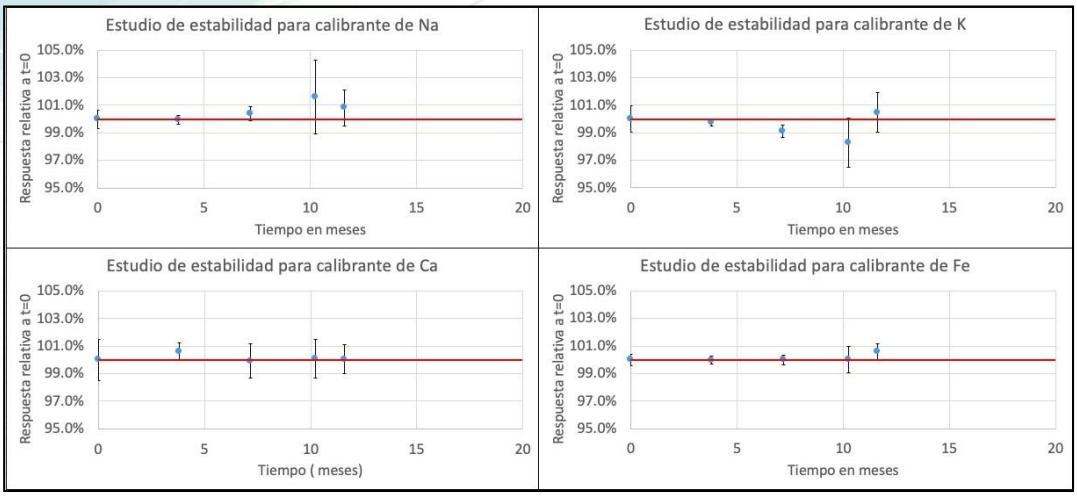


Figura 4. Estudio de estabilidad a largo plazo para las seis soluciones calibrantes.

Con el propósito de lograr una conclusión más adecuada y en concordancia con lo establecido en la guía ISO 35 (2017), se procedió a realizar un análisis de regresión para establecer si los resultados mostrados en las Figuras 3 y 4 se ajustaban a una cinética de orden 0. Los resultados de esta regresión se encuentran en la Tabla 1, en la cual se puede observar que, la pendiente es estadísticamente igual a 0 (α=0.05) en todos los materiales, de tal manera que se puede concluir que todos los materiales son estables, en el tiempo evaluado. Sin embargo, se debe etablecer una incertidumbre por la evaluación del proceso de establidad, la cual se presenta en la Tabla 1

Tabla 1. Resultados de análisis de regresión para los diferentes materiales evaluados

Elemento	Pendiente para corto plazo (%/semana)	Probabilidad*	Pendiente para Largo plazo (%/meses)	Probabilidad*	Incertidumbre estimada por estabilidad (%)**
Na	0.0365	0.8834	1.84747	0.1061	0.1598%
K	0.1110	0.7664	-0.37350	0.714	0.1601%
Ca	-0.5784	0.4682	2.53643	0.0903	0.1614%
Mg	-0.1274	0.6725	-0.26730	0.7435	0.1611%
Fe	-0.3467	0.5537	0.00012	0.2606	0.1618%
Zn	-0.3203	0.3122	-0.00002	0.7933	0.1620%

* Valor de probabilidad de aceptar la hipótesis nula para una prueba t de pendiente.
**Esta incertidumbre se estimó considerando un tiempo de 12 meses de vigencia (largo plazo) y 8 semanas de transporte (corto plazo).

Caracterización y asignación del valor

En el presente estudio, se empleó la aproximación de varias técnicas analíticas para caracterizar los materiales de referencia, para lo cual la norma ISO 17034 (2016) establece que la caracterización mediante esta aproximación necesita, por lo menos, dos métodos de medición independientes. Los resultados correspondientes a la caracterización se presentan en la Tabla 2. En esta tabla se observa que los resultados obtenidos mediante cada técnica analítica son coherentes entre sí, por lo cual se procedió a realizar la combinación de los valores acorde a Levenson et al. (2020)

Tabla 2. Concentraciones obtenidas en la caracterización de los materiales, empleando diferentes técnicas analíticas.

	ICPMS (mg/kg)	CI (mg/kg)	FAA (mg/kg)	Valor certificado (mg/kg)	Incertidumbre expandida con k=2 (mg/kg)
Ca	1000.8	1000.8	999.0	1000	10
Fe	1002.9	-	1004.0	1003	13
K	992.6	991.8	992.7	992.4	8.6
Mg	1002.5	1003.2	1004.0	1003.2	8.5
Na	988.6	990.4	988.3	989.1	9.7
Zn	970.2	-	972.0	971	18

Para la asignación del valor se deben considerar no sólo la incertidumbre de los métodos de medición, la cual se puede expresar en una sola incertidumbre denominada incertidumbre por caracterización (u_{cara}), sino que se debe incluir las incertidumbres por estabilidad (u_{esta}), y homogeneidad (u_{hom}). La ecuación 2 presenta la expresión general para la estimación de la incertidumbre asociada al valor certificado en cada material de referencia.

$$u_{MRC} = \sqrt{u^2_{hom} + u^2_{esta} + u^2_{car}} \qquad \textbf{Ecuación (2)}$$

Finalmente, la Figura 5 presenta los aportes en incertidumbre para los seis materiales de referencia producidos. En esta figura se puede observar que, en general, la fuente de incertidumbre dominante corresponde a u_{car}.

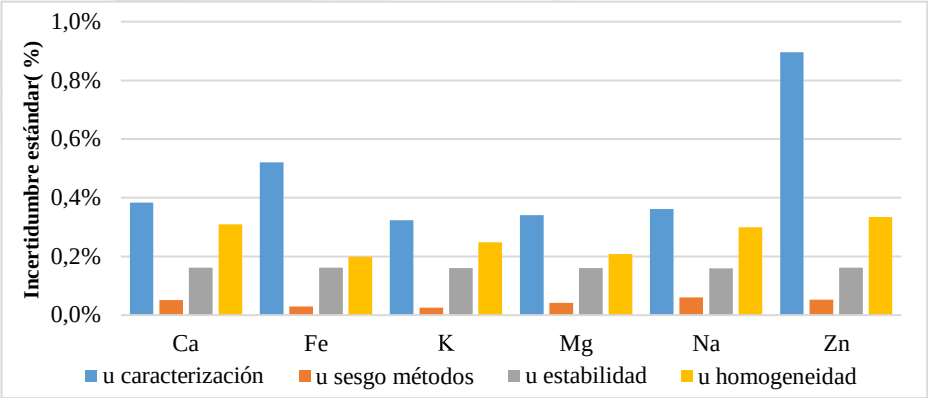


Figura 5. Incertidumbres relativas para las fuentes evaluadas en la certificación de soluciones calibrantes

Conclusiones

Se identifica que la fuente de mayor aporte a la incertidumbre del material es la caracterización; pero aun así la incertidumbre expandida del material no supera el 2%, por lo que se puede establecer que estos materiales de referencia certificados, producidos por el Instituto Nacional de Metrología de Colombia, son adecuados para su uso previsto, y pueden ser utilizados por los laboratorios para la preparación de calibrantes en las mediciones destinadas a evaluar la calidad del agua. El uso de estos materiales de referencia certificados permitirá a los laboratorios obtener la trazabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Metrología de Colombia, al Grupo de Investigación en Metrología química y Bioanálisis de la Subdirección de Metrología Química y Biomedicina y especialmente la Grupo de metrología de análisis inorgánico por su apoyo en la producción de los calibrantes.

Referencias bibliográficas

Biziuk, M., Kuczynska, J. (2007) Mineral components in foods Taylor & Francis, pp. 1–31. DOI:https://doi.org/10.1201/9781420003987

Cheremisinof, N.P.(2002) Handbook of water and wastewater treatment technologies .Butterworth-Heinemann, Woburn, U.S. pp 375

International Organisation for Standardisation (2017), ISO Guide 35 Reference materials — Guidance for characterization and assessment of homogeneity and stability Geneva.

International organisation for Standardisation (2016) ISO 17034, Reference materials-General requirements for the competence of reference material producers. Geneva.

Levenson, M. S., Banks, D.L., Eberhardt, K.R., Gill,L.M.,Guthrie, W.F., Liu, H.K., Vangel, M.G., Yen, J.H., Zhang, N.F. (2000) An Approach to Combining Results From Multiple Methods Motivated by the ISO GUM. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology **105(**4),571–579. DOI: http://dx.doi.org/10.6028/jres.105.047

Manahan, S.E. (2001) Fundamentals of Environmental Chemistry , 2a ed. CRC Press LLC, Boca Ratón pp 242,355

Ministerio de la protección social Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial (2007), Resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Acceso 30 de julio del 2020 Disponible en

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

Navarro, S. A., Rohan, T. E. (2007) Trace elements and cancer risk: A review of the epidemiologic evidence. Cancer Causes Control, **18**(1), 7–27.DOI: 10.1007/s10552-006-0057-z.

Kiełbasa, A. , Gadzała, R., Buszewski, B.(2016) Reference Materials: Significance, General Requirements, and Demand. Critical Reviews in Analyticial Chemistry. **46(**3),224–235. DOI: https://doi.org/10.1080/10408347.2015.1045120

TRATAMIENTO DE AGUAS DESCARGADAS EN DRENAJE NATURAL URBANO CON BUCHÓN DE AGUA.

Paula Martínez[1], Luis Carvajal[1*], Leonardo Nieto[1], Laura Perdomo[1].

[1]Facultad de Ingeniería. Corporación Universitaria del Huila, Corhuila.
[2]Autor de contacto: Programa Ingeniería Ambiental. Corporación Universitaria del Huila, Corhuila.
Calle 21 No. 6-01, Barrio Quirinal, Ciudad Neiva, Departamento Huila. C.P. 410002. Colombia.
Email: luis.carvajal@corhuila.edu.co.

Resumen

Las fuentes hídricas urbanas se han convertido en vertederos para descargas de aguas residuales y disposición de residuos sólidos de las viviendas cercanas a éstas, que cuando atraviesan un centro urbano aumenta su deterioro, por lo que se deben plantear alternativas de solución viables para su descontaminación, con el propósito de reconocer la eficiencia y aplicabilidad de un sistema de tratamiento natural se emplearon poblaciones de buchón de agua (Eichhornia crassipes) en el drenaje natural La Cucaracha en Neiva, departamento del Huila. Se realizó un diagnóstico para establecer las condiciones actuales del drenaje, además, caracterizar actividades antrópicas que se llevan a cabo alrededor del mismo y dar inicio a la fase de implementación del sistema in situ; se evaluaron cinco parámetros químicos, entre ellos se realizó la medición de la DBO_5, para probar la eficiencia de remoción de la materia orgánica por parte de las macrófitas dentro de un ecosistema lótico. En promedio, los resultados de eficiencia fueron mayores al 50%, permitiendo afirmar que el sistema puede ser útil como un tratamiento complementario dentro de un proceso de remoción para aguas descargadas en drenajes naturales a nivel urbano.

Palabras clave: DBO, ecosistema lótico, macrófita, materia orgánica, remoción.

Abstract

Urban water sources have become dumps for wastewater discharges and places for solid waste disposal, unfortunately, the situation gets worse when urban waters cross the city centers increasing their deterioration; these are the reasons why it is vital to consider alternative solutions for decontamination, recognizing the efficiency and applicability of natural treatment systems. In this study water hyacinth populations (Eichhornia crassipes) were used in the natural drainage La Cucaracha in Neiva, department of Huila, as a natural treatment system for the decontamination of this urban water drainage system. A diagnosis was made to establish the current drainage conditions and the anthropic activities that are carried out around it, to begin the implementation phase of the system in situ. To test the

efficiency of organic matter removal with these aquatic plants, five chemical parameters were evaluated including BOD_5, obtaining efficiencies greater than 50% organic material removal showing that this system can be useful as a complementary treatment within a removal process in urban water drainage system.

KeyWords: BOD, lotic ecosystems, aquatic plants, organic matter, removal.

Introducción

Desde hace muchos años, Neiva ha venido presentando un progresivo desarrollo urbano, Neiva es prolífica en recurso hídrico, correspondiendo a la cuenca alta del río Magdalena y a las subcuencas pertenecientes a los Ríos Las Ceibas, El Oro, Fortalecillas, Baché y Aipe como afluentes principales y tributarios importantes en términos de caudal; en sinergía con la red de ríos y quebradas de menor incidencia, pero también es cierto que la contaminación de los recursos hídricos es bastante considerable y los mecanismos de protección son lentos y en muchos casos infructuosos (Gonzalo & Camargo, 2013) (Alcaldía de Neiva, 2018).

La contaminación hídrica en Neiva es de tipo multifactorial, se destaca la acelerada construcción de proyectos urbanísticos que alteran sensiblemente el medio ambiente, el vertido de aguas residuales sin tratar, la inadecuada disposición de desechos sólidos en sus cauces y la ausencia de una cultura ciudadana para su adecuada protección, vertimiento de aguas negras y el desacato de las rondas de protección hídrica afectando sensiblemente al ecosistema acuático (Alcaldía de Neiva, 2018). Aunque todos los ecosistemas tienen propiedades de resiliencia frente a cambios provocados desde el exterior hacia el sistema natural que tiende a retornarlos al estado original luego de surtir procesos funcionales, no obstante, todos los ecosistemas no regresan al estado inicial (Mascaro, Hughes, & Schnitzer, 2012) (Newman, McLaren, & Wilson, 2014) (Cole, Bhagwat, & Willis, 2015) (Prospere, McLaren, & Wilson, 2016).

La zona norte de la ciudad de Neiva es atravesada por el drenaje natural La Cucaracha, erróneamente denominado como Quebrada La Cucaracha, por ser una corriente urbana de menor caudal, que conserva su flujo en épocas de verano gracias a determinados puntos de mayor profundidad que retienen las aguas y gracias también a las descargas de aguas residuales que continuamente son arrojadas al mismo; es una corriente bastante intervenida a lo largo de su recorrido, pues es utilizada como drenaje para aguas domésticas e industriales y sus limitadas rondas de protección son empleadas como botaderos de residuos sólidos (Alcaldía de Neiva, 2018).

Lo anterior, muestra que se hace urgente un tratamiento biológico que permita mejorar las condiciones en las que se encuentra el drenaje, no solo a través del manejo de la carga orgánica contenida en las aguas que transporta sino también mejorando el ecosistema circundante (Van Haandel & Van der Lubbe, 2012) (Romanova, Shuvaeva, & Belchenko, 2016). El presente trabajo busca comprobar la eficiencia de un tratamiento para aguas

descargadas al drenaje natural La Cucaracha implementando buchón de agua (Eichhornia crassipes).

E. crassipes es una planta acuática de muy alta productividad y ampliamente utilizada para tratamientos de depuración de aguas contaminadas por poseer propiedades para absorber nutrientes y contaminantes, reproducirse rápidamente, ser fácil de recolectar y manejar en campo y ser tolerante a altas concentraciones de sustancias tóxicas (Petrucio & Esteves, 2000) (Li, Liu, & Guan, 2010) (Martelo & Lara, 2012) (Carreño, 2016) (Pandey, 2016).

Metodología

Área de estudio.

El proyecto se desarrolló en el drenaje natural La Cucaracha, ubicada en la comuna uno de la ciudad de Neiva, capital del departamento del Huila, coordenadas Latitud N2°57'04'' y Longitud W75°17'46'', con zona de protección de 5m en el costado occidental de la pista del aeropuerto Benito Salas y atravesándolo en sentido oriente – occidente. El área de estudio del proyecto se ubica en la zona canalizada atravesada por el drenaje, que presenta contaminación de aguas y acumulación de residuos sólidos (Alcaldía de Neiva, 2018) (Figura 1).

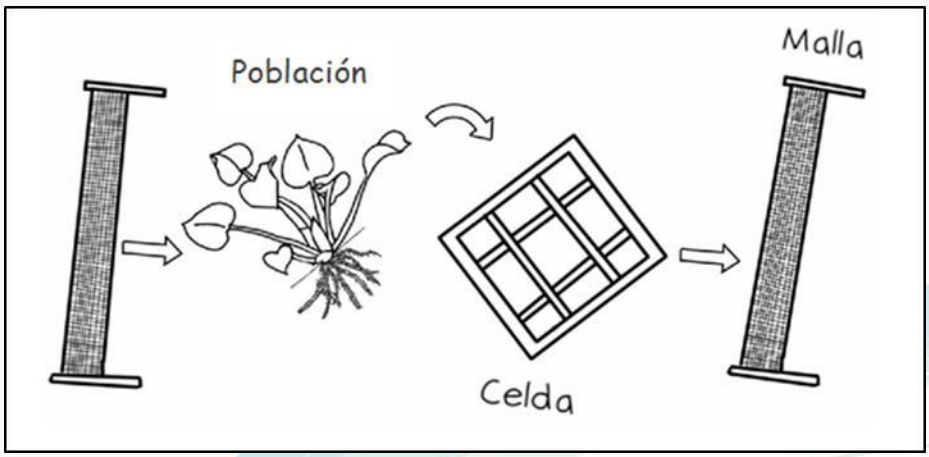
Figura 1. Neiva, capital del departamento del Huila (imagen izquierda), drenaje natural La Cucaracha y estaciones [estrellas] de muestreo (imagen derecha).

Métodos.

Bio-Tratamiento.

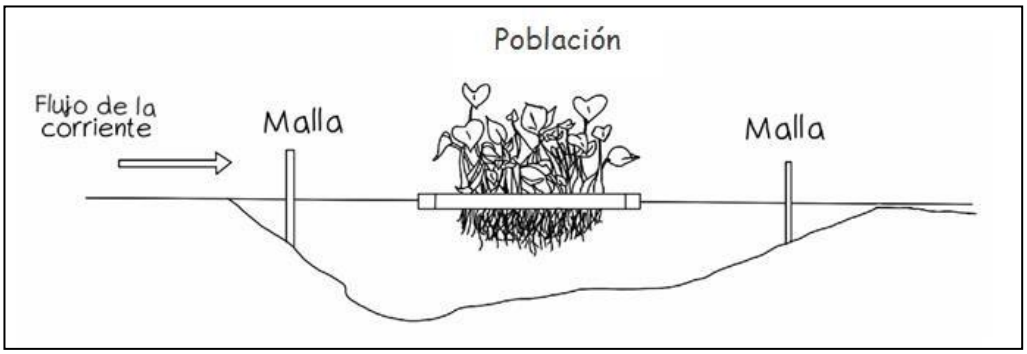
Primero, remoción de residuos sólidos con intervención comunitaria, dentro del drenaje y en la ronda de protección. Segundo, diseño del sistema, se realizaron 6 celdas de 60cm^2 para controlar el crecimiento de las plantas y aprovechar al máximo la morfología del terreno (Figura 2). Tercero, introducción de individuos de Eichhornia crassipes por punto de muestreo, distribuidos aproximadamente en 15 macrófitas por celda.

Figura 2. Esquema del diseño del Sistema con Eichhornia crassipes.



Con el propósito de asegurar la permanencia de las plantas en los tres puntos de muestreo determinados por mayor presión antrópica, se instalaron 4 mallas de 1,50m de ancho, que atravesaban el ancho del drenaje a la salida del sistema para impedir que las plantas pudieran ser arrastradas aguas abajo. De igual manera fue necesario ajustar una malla a la entrada del bioensayo que retuviera materiales orgánicos e inorgánicos transportados por el drenaje (Figura 3).

Figura 3. Esquema de la distribución de las mallas dentro del sistema.



Análisis.

Una vez colocadas las mallas y las celdas el buchón de agua, se realizó recambio cada quince días del material biológico. Para establecer la eficiencia del tratamiento se hicieron dos tipos de pruebas con periodicidad bimestral, primero, pruebas in situ con un multiparámetro -HANNA HI 9813 y HANNA H193414- para medir temperatura, pH, Sólidos Suspendidos Totales y turbiedad con un turbidímetro y pruebas de laboratorio para obtener la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) (APHA, 2012).

La eficiencia de remoción de la carga orgánica se estableció por medio del porcentaje de reducción de carga contaminante como grado de eficiencia de remoción calculándolo, ver Ecuación 1 (Parra, 2006):

$$Ef = \frac{Carga\ contaminante\ removida}{Carga\ contaminante\ total} * 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

El resultado obtenido hace referencia al cumplimiento de la función de las macrófitas dentro del biotratamiento implementado, estableciendo el porcentaje de remoción en cada uno de los puntos de muestreo.

Resultados y Discusión

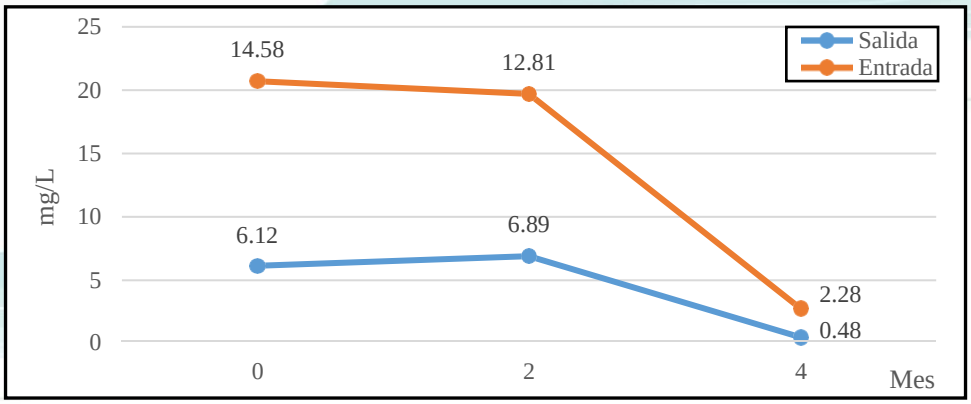
A partir de las mediciones de parámetros fisicoquímicos se encontró un aumento en la transparencia del efluente después de pasar por las comunidades de buchón de agua, señalando retención de material particulado por parte de las macrófitas, además del proceso de sedimentación presente en los puntos de muestreo; los registros de pH, conductividad y Sólidos Suspendidos Totales, no mostraron cambios sustanciales entre los puntos de muestreo y los períodos de medición, por lo que la Tabla 1 muestra los promedios del análisis realizados, denotando que el biosistema de buchón implementado no incide en la dinámica del ecosistema (Tanner & Headley, 2011) (Murueta, 2014).

Tabla 1. Resultados de medición de parámetros físico – químicos.

Parámetros	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Turbidez (UTN)	82.6	5.64	74.4	5.92	77.2	1.95
Temperatura (° C)	25.9	26.8	27.9	26.9	27.1	26.4
pH	7.3	7.2	7.3	7.2	8.6	7.9
Conductividad (mS)	0.40	0.38	0.32	0.25	0.23	0.23
Sólidos Suspendidos Totales (ppm)	287	275	247	215	173	165

En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), ésta disminuyó a la salida del bioensayo en comparación con la entrada en todos los puntos de muestreo y frecuencia de muestreo (Figura 4), lo que puede ser una herramienta para remoción de materia orgánica por el buchón de agua, evidenciando su potencial para depurar cuerpos de agua contaminados (Murueta, 2014) (Romanova, Shuvaeva, & Belchenko, 2016); en cuanto a los análisis físico-químicos en relación con DBO_5 entre menor contaminación registrada, se potencializa la eficiencia para la remoción de materia orgánica por Eichhornia crasipes (El-Glendy, Biswas, & Bewtra, 2005)(Malakahmad, Kutty, & Ngatenah, 2009) (Rezania, Din, Taib, Dahalan, & Songip, 2016).

Figura 4. Comportamiento del DBO_5 en el área de estudio.



La eficiencia de remoción arrojó el 58% en el primer muestreo, 46% en el segundo muestreo y 79% en el tercer muestreo, el sistema redujo la contaminación por carga orgánica presente en el área de estudio, se pudiera estimar que las plantas en condiciones óptimas pudiera aumentar la eficiencia de remoción (Akinbile & Yusoff, 2012) (Rezania, Din, Taib, Dahalan, & Songip, 2016).

El desarrollo del tratamiento evidenció la falta de cultura ambiental de la comunidad aledaña al ecosistema formado en el drenaje natural La Cucaracha, la indiferencia ante la problemática presente y la falta de compromiso de las autoridades ambientales para hacer cumplir las leyes que rigen la protección y buen uso de los recursos naturales (Rezania, Din, Taib, Dahalan, & Songip, 2016) (Akinbile, Ogunrinde, Che, & Aziz, 2016).

El recorrido del drenaje está canalizado hasta la carrera 1ra, sin embargo recibe sin ser contabilizadas descargas de aguas residuales domésticas y residuos sólidos provenientes del contacto con los habitantes. El deterioro del drenaje es más evidente en ciertas zonas en donde la profundidad es mínima, no obstante, la importancia del drenaje es mucho mayor a la que se le ha dado, ya que es un sistema urbano que desemboca en el rio Magdalena y que durante su recorrido atraviesa la zona norte de la ciudad de Neiva siendo captador final de las aguas lluvias de esta.

Para el desarrollo del sistema se seleccionó a la planta buchón de agua, macrófita considerada como invasora, por lo cual fue necesario establecer medidas que aseguraran la conservación del ecosistema, retirando en su totalidad las plantas en cada uno de los puntos de muestreo, para evitar la invasión de esta especie en el ecosistema; adicionalmente se hicieron recorridos y jornadas de revisión para verificar la ausencia de estas plantas aguas abajo de los puntos de muestreo (Li, Liu, & Guan, 2010) (Van Haandel & Van der Lubbe, 2012) (Carreño, 2016).

La elaboración e implementación del sistema generó variaciones en el caudal del drenaje que impidieron la supervivencia de las macrófitas por un tiempo prolongado, aquellas que se establecieron no alcanzaron el nivel óptimo de crecimiento, evidenciando cambio de coloración en hojas; estas fluctuaciones permitieron el control de plantas para su posterior extracción sin provocar grandes perturbaciones en el ecosistema (El-Glendy, Biswas, & Bewtra, 2005) (Condori & Delgadillo, 2010) (Li, Liu, & Guan, 2010) (Murueta, 2014) (Henares & Camargo, 2014).

Conclusión

El buchón de agua demostró una capacidad de remoción de la materia orgánica de un sistema lotico del 50%, aproximadamente, lo que lo convierte en una herramienta alternativa para tratar aguas residuales.

Referencias Bibliográficas

Akinbile, C., & Yusoff, M. (2012). Assessing water hyacinth (Eichhornia crassopes) and lettuce (Pistia stratiotes) effectiveness in aquaculture wastewater treatment. International Journal of Phytoremediation, 14(3), 201-211.

Akinbile, O., Ogunrinde, T., Che, M., & Aziz, H. (2016). Phytoremediation of domestic wastewaters in free water surface constructed wetlands using Azolla pinnata. International Journal of Phytoremediation, 18(1), 54-61.

Alcaldía de Neiva. (2018). Decreto Municipal No. 0084 de 2018. Neiva:Alcaldía de Neiva.

APHA. (2012). Standard methods for the examination of water and waste water, 22 st. Washington, DC: American Public Health Association.

Carreño, U. (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la Eichhornia crassipes. Revista Colombiana de Biotecnología, 18(2), 74-81.

Cole, L., Bhagwat, S., & Willis, K. (2015). Long-term disturbance dynamics and resilience of tropical peat swamp forests. Journal of Ecology, 103, 16-30.

Condori, L., & Delgadillo, M. (2010). Planta de tratamiento de aguas residuales con macrófitas para comunidades cercanas al lago titicaca. Journal Boliviano de Ciencias, 7(21), 63-66.

El-Glendy, A., Biswas, N., & Bewtra, J. (2005). A floating aquatic system employing water hyacinth for municipal landfill leachate treatment: effect of leachate characteristics on the plant growth. Journal of Environmental Engineering and Science, 4(4), 227-240.

Gonzalo, C., & Camargo, J. (2013). The impact of an industrial effluent on the water quality, submersed macrophytes and benthic macroinvertebrates in a dammed river of Central Spain. Chemosphere, 93, 1117-1124.

Henares, M., & Camargo, A. (2014). Treatment efficiency of effluent prawn culture by wetland with floating aquatic macrophytes arranged in series. Brazilian Journal of Biology, 74(4), 906-912.

Li, K., Liu, Z., & Guan, B. (2010). Effects of nutrient levels in surface waterand sediment on the growth of the floating-leaved macrophyte Trapa maximowiczii: implication for management of macrophytes in East Bay of Lake Taihu, China. Limnology, 11, 95-101.

Malakahmad, I., Kutty, S., & Ngatenah, S. (2009). Nutrients removal from municipal wastewater treatment plant effluent using Eichhornia crassipes. Engineering and Technology, 60, 826-831.

Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. Ingeniería y Ciencia, ing. cienc., 221-243.

Mascaro, J., Hughes, R., & Schnitzer, S. (2012). Novel forests maintain ecosystem processes after the decline of native tree species. Ecological Monographs, 82, 221-228.

Murueta, L. (2014). Efecto de la carga orgánica y de nutrientes y su biorremediación en sedimentos de ecosistemas acuáticos con distintas características ecológicas.Tesis Doctoral. Mexico: Universidad de Valencia.

Newman, M., McLaren, K., & Wilson, B. (2014). Assessing deforestation and fragmentation in a tropical moist forest over 68 years; the impact of roads and legal protection in the Cockpit Country, Jamaica. Forest Ecology and Management, 315, 138-152.

Pandey, V. (2016). Phytoremediation efficiency of Eichhornia crassipes in fly ash pond. International Journal of Phytoremediation, 18(5), 450-452.

Parra, L. (2006). Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) hasta alcanzar el estado estable. Tesis pregrado. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Petrucio, M., & Esteves, F. (2000). Uptake rates of nitrogen and phosphorus in the water by Eichhornia crassipes and Salvinia auriculata. Revista Brasileira de Biologia, 60(2), 229-236.

Prospere, K., McLaren, K., & Wilson, B. (2016). Characterizing the Status (Disturbed, Hybrid or Novel) of Swamp Forest Fragments in a Caribbean Ramsar Wetland: The Impact of Anthropogenic Degradation and Invasive Plant Species. Environmental Management, 58, 655-681.

Rezania, S., Din, M., Taib, S., Dahalan, F., & Songip, A. (2016). The efficient role of aquatic plant (water hyacinth) in treating domestic wastewater in continuous system. International Journal of Phytoremediation, 18(7), 679-685.

Romanova, T., Shuvaeva, O., & Belchenko, L. (2016). Phytoextraction of trace elements by water hyacinth in contaminated area of gold mine tailing. International Journal of Phytoremediation, 18(2), 190.

Tanner, C., & Headley, T. (2011). Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants. Ecological Engineering, 37(3), 474-486.

Van Haandel, A., & Van der Lubbe, J. (2012). Handbook of biological wastewater treatment: design and optimisation of activated sludge systems. IWA Publishing 2nd.

FORMULACIÓN DE LOS LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE EVALUACIÓN DEL PERMISO DE OCUPACIÓN DE CAUCES, PLAYAS Y LECHOS EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL POR PARTE DE LA AUTORIDAD AMBIENTAL DE LICENCIAS AMBIENTALES HACIA LAS DEMÁS AUTORIDADES AMBIENTALES NACIONALES

Manuel Ernesto Penagos Rodríguez[1*], Daniel Fernando Chaves Ordoñez[1], Beatriz Elena Gutiérrez Ortiz[1]

[1] Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, Universidad de La Salle

* **Autor corresponsal:** Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, Universidad de La Salle, Calle 24 # 14 – A 03, Zipaquirá, Cundinamarca. 250251. Colombia. Email: Mpenagos88@unisalle.edu.co

Resumen

Formulación de los requerimientos mínimos de evaluación del permiso de ocupación de cauces, playas y lechos en proyectos de infraestructura vial por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, se realizará mediante la recopilación de expediente que se encuentran depositados en la Ventanilla Integral de Tramites Ambientales en línea (VITAL), seleccionando los expedientes comprendidos entre los años 2015-2018, por año se seleccionaran dos expedientes a los cuales se les revisara los estudios técnicos que hayan presentado ante la autoridad ambiental para de esta forma realizar un cruce de información mediante el uso de una matriz.

Palabras clave: Autoridad ambiental, Cauce, Evaluación, Permiso, Requerimientos

Abstract

Formulation of the minimum requirements for the evaluation of the permit for the occupation of channels, beaches and beds in road infrastructure projects by the National Environmental Licensing Authority, will be carried out through the collection of the file that is deposited in the Integral Window of Environmental Procedures online (VITAL), selecting the files between the years 2015-2018, per year two files will be selected to which the technical studies that they have presented before the environmental authority will be reviewed so as to cross-check the information through the use of a matrix.

KeyWords: Channel, Environmental authority, Evaluation, Permit, Requirements.

Introducción

Los permisos y trámites ambientales son procesos fundamentales a la hora de realizar la administración como planeación de proyectos los cuales intervendrán ciertos recursos naturales, con el fin de disminuir impactos significativos a cada uno de los componentes ambientales (abiótico, biótico y socioeconómico). De los componentes más vulnerables a la implementación de proyectos de infraestructura se encuentran las fuentes de aguas superficiales, debido a que estas poseen una estrecha relación con los demás componentes previamente mencionados, según Galindo y Silva “el recurso hídrico presentara alteraciones a causa de movimientos de tierra, excavaciones y eliminación de la cubierta vegetal” como por ejemplo, la modificación del flujo como de la calidad de agua, además cabe mencionar que el recurso hídrico también se ve alterado al aumentarle su caudal sólido, a causa de los procesos de lavado de las obras de construcción y en la operación. Sin embargo, al igual que la gran parte de los permisos ambientales otorgados dentro del territorio nacional, no existe una estandarización de estos.

Por esta razón el proyecto busca enfocarse en la estandarización de los requerimientos de evaluación del permiso de ocupación de cauces, lechos y playas otorgado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), estableciendo énfasis en los proyectos involucrados en la construcción y mejoramiento de la infraestructura vial, debido a que dentro de la ventanilla Integral de Trámites Ambientales en Línea (VITAL) el cual según el Decreto 1076 de 2015 corresponde al “sistema centralizado de cobertura nacional través del cual se direccionan y unifican todos los trámites administrativos de licencia ambiental, planes de manejo ambiental, permisos, concesiones y autorizaciones ambientales” estos proyectos poseen una gran demanda del permiso mencionado.

Además, en las últimas décadas el proceso evolutivo de la infraestructura vial en Colombia se ha venido realizado de una manera lenta e inadecuada, lo cual ha traído consecuencias notorias en la economía colombiana tanto a nivel internacional como nacional, como además del retroceso o estancamiento en el desarrollo sostenible del país. “Según el ranking global de competitividad realizado por el Foro Económico Mundial, para el año 2016, Colombia se ubicó en el puesto 61 entre 138 países con un índice de 4.3%, resultadoque ha causado grandes preocupaciones en cuanto al camino que debe seguir el país parallegar a ser más competitivo por medio de la infraestructura de transporte vial” Ordoñez y Parra (2017). Lo anterior a causa principalmente de la poca inversión que en añosposteriores se ha venido realizando, en especial lo concerniente a los años anteriores al 2014 ya que según el Indicador de Inversión de Obras Civiles (IIOC) realizado por el DANEse puede observar una reducción significativa de esta. Llegando a pasar de una inversión de casi el 40% al -5% para segundo semestre del año 2018.

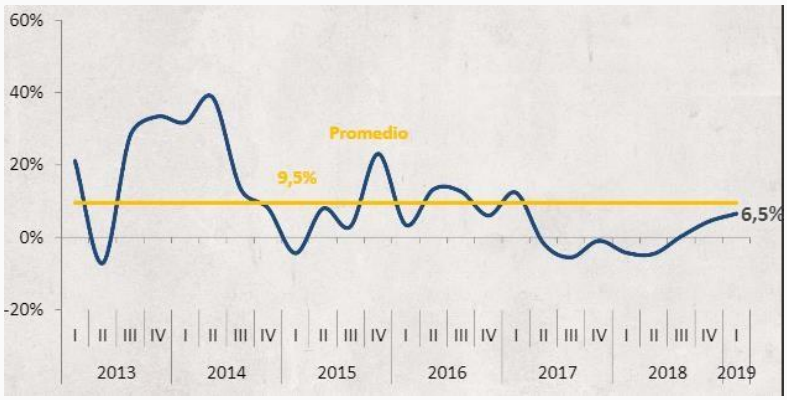


Figura 1. Variación anual IIOC: Carreteras, calles, caminos y puentes
Fuente: DANE

Esta disminución en la inversión causa una afectación directa en la realización de las actividades técnicas de infraestructura, el incumplimiento de aquellos permisos otorgados para la ejecución de proyectos, como incluso una afectación en el presupuesto de los proyectos al no poder costear los distintos requerimientos que componen dichos permisos, además en algunos casos se presenta variación en los requerimientos de cada permiso dependiendo de la localización del proyecto, dicha variación indica dos escenarios: una subvaloración o sobrevaloración de los permisos, lo cual agrava el escenario previamente mencionado.

Sin embargo, el Plan Nacional de Desarrollo (2018-2020) busca mejorar la situación previa aumentando considerable en la vigencia futura para el sector de transporte, como se puede observar en el siguiente gráfico.

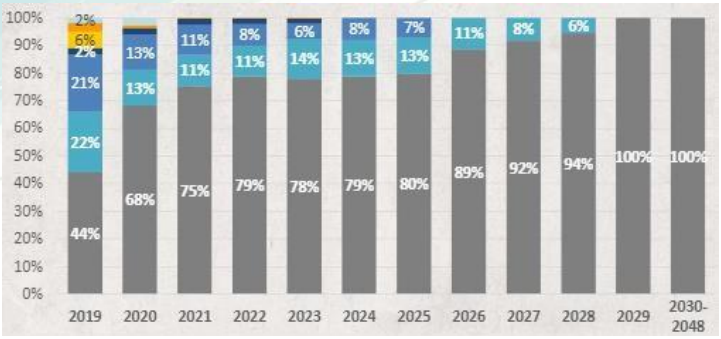


Figura 2. Distribución de vigencias futuras por sectores

Fuente: Ministerio de Hacienda

Es decir que se espera que a partir del año 2029 se autorizaran al 100% los recursos fiscales comprometidos para el sector, lo cual corresponde para dicho año una inversión de

3.834 millones de dólares. Sin embargo, dicha inversión solo solucionaría los problemas en cuanto a cumplimiento de permisos, como a la correcta ejecución técnica de la infraestructura, ya que, al no solucionar la variabilidad de los permisos en el territorio colombiano, muchos recursos económicos serán desaprovechados como además de la afectación de los respectivos componentes ambientales dentro del área de influencia del proyecto.

Objetivos

Formular los requerimientos mínimos de evaluación del permiso de ocupación de cauces, playas y lechos en proyectos de infraestructura vial por parte de la Autoridad Ambiental de Licencias Ambientales hacia las demás autoridades ambientales nacionales.

Identificar los requisitos solicitados para la obtención del permiso de ocupación de cauces, playas y lechos en los distintos proyectos de infraestructura vial a nivel nacional.

Diagnosticar los requerimientos, requisitos y las variaciones que presentan en cada una de las distintas infraestructuras viales propensas a ocupación de cauce.

Establecer los requerimientos mínimos de evaluación para cada uno de los requisitos solicitados para la obtención del permiso de ocupación de cauces, playas y lechos para proyectos de infraestructura vial.

Metodología

ETAPA I. Para el objetivo correspondiente a “Identificar los requisitos solicitados para la obtención del permiso de ocupación de cauces, playas y lechos en los distintos proyectos de infraestructura vial a nivel nacional.” se propone:

Construir una base de datos con información suministrada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales a través de la Ventanilla Integral de Tramites Ambientales en Línea (VITAL), de los requisitos que componen cada expediente de solicitud del permiso de ocupación de cauces, playas y lechos, dicha información luego procederá a ser confinada en un matriz, la cual contará mínimo con los siguientes ítems:

Requisitos solicitados

Objetivo del requisito

Sustento legal, normativo o técnico

ETAPA II. Para el objetivo correspondiente a "Diagnosticar los requerimientos, requisitos y las variaciones que presentan en cada una de las distintas infraestructuras viales propensas a ocupación de cauce." se propone:

FASE I. Registrar y diagnosticar cada uno de los actos administrativos asociados a la solicitud de ocupación de cauces, playas y lechos más actuales.

En esta fase se pretender reconocer los actos administrativos de permisos de ocupación de cauces, playas y lechos realizados a nivel nacional, con el fin de efectuar la comparativa procedimental de cada una de las etapas de proyecto.

Los actos administrativos serán diligenciados en una matriz con los siguientes campos:

- Nombre del proyecto
- Número de expediente
- Año
- Solicitante
- Objetivo del proyecto
- Localización
- Actividades para realizar
- Etapas del proyecto
- Requisitos suministrados
- Requerimientos diligenciados

FASE II. Evaluar cada uno de los requerimientos que conforman los requisitos de los actos administrativos evaluados en la fase anterior.

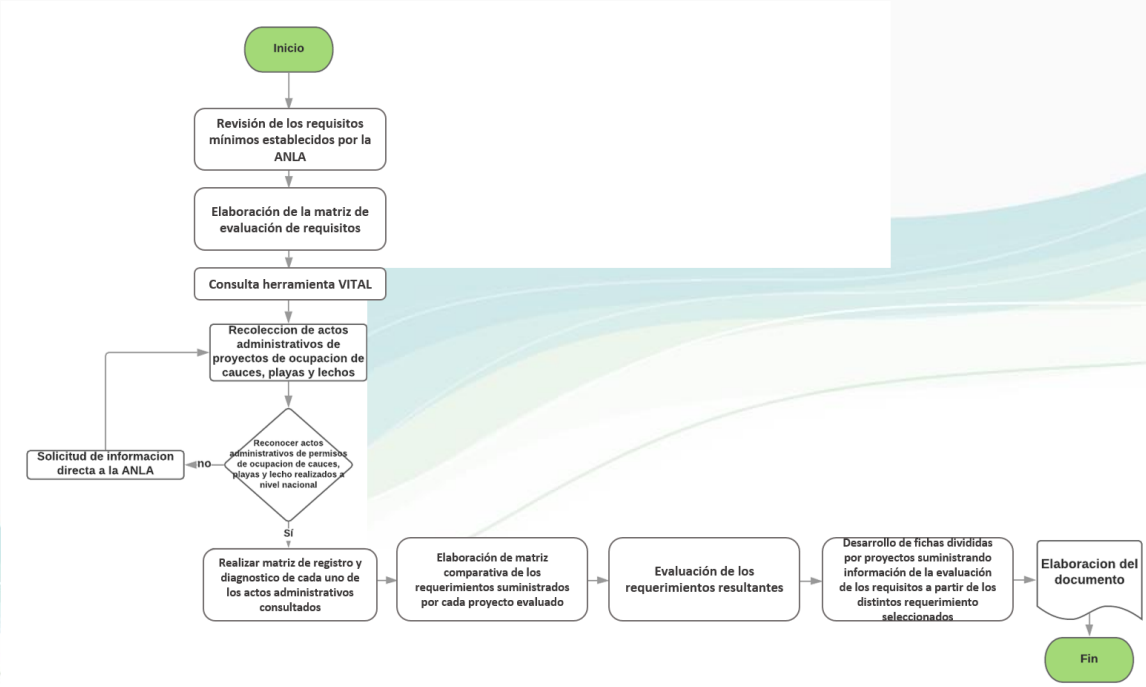
Se pretende realizar la evaluación de los requerimientos obtenidos de la fase anterior, para ellos al igual que en la ETAPA I se realizará una matriz que contenga los siguientes campos:

- Requerimiento diligenciado
- Objetivo del requerimiento
- Sustento legal, normativo o técnico

ETAPA III. Para el objetivo correspondiente a “Establecer los requerimientos mínimos de evaluación para cada uno de los requisitos solicitados para la obtención del permiso de ocupación de cauces, playas y lechos para proyectos de infraestructura vial.” se propone:

Con la información obtenida de la ETAPA II, se procederá a estandarizar los requerimientos mínimos de evaluación de los requisitos para la obtención del permiso de ocupación de cauces, playas y lechos para cada uno de los tipos de proyectos de infraestructura vial con sus respectivas variaciones. Para ello se suministrarán fichas divididas por tipo de proyecto suministrando información sobre el requisito; condición de cumplimiento del requisito a partir de los requerimientos; descripción de la condición; sustento legal, normativo y técnico;como observaciones que se consideren pertinentes.

Diagrama 1. Metodología del proyecto



Referencias bibliográficas

Aguilar, A. J. (2005). Hidráulica fluvial. Retrieved from https://ebookcentral-proquest-com.hemeroteca.lasalle.edu.co

Albarracín, Cruz (2013). FORMULACIÓN DE LAS OBLIGACIONES MÍNIMAS REQUERIDAS LIGADAS A CADA PERMISO, PARA OTORGAR LICENCIAS AMBIENTALES DE HIDROELECTRICAS EN EL SECTOR ENERGETICO EN COLOMBIA. Universidad de La Salle, Bogotá.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (s. f). Permiso de ocupación de cauces, playas y lechos. Obtenido en http://portal.anla.gov.co/permiso-ocupacion-cauces-playas-y-lechos

Cámara Colombiana de la Infraestructura (2019). Bitácora de la infraestructura. Obtenido en https://issuu.com/camaracci/docs/20190529_bitacoramayo

Cámara de comercio de Bogotá. (s.f.). Cámara de comercio de Bogotá. Obtenido de https://www.ccb.org.co

Campoblanco, Gomero (2000). IMPORTANCIA DE LOS RÍOS EN EL ENTORNO AMBIENTAL. Obtenido en http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v03_n5/imp_rios.htm

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (s. f). Permiso de ocupación de cauces, playas y lechos. Obtenido en https://www.car.gov.co/vercontenido/1166

Durán, García (s. f). Distribución espacial de la vegetación. Obtenido en https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap3/03%20Distribucion%20espacial.pdf

Duque Escobar, G. E. (2002). Mecánica de los suelos. universidad nacional de Colombia

Escuela Colombiana de Ingeniería. Centro de Estudios Hidráulicos y Ambientales. (s.f.). transporte de sedimentos. Obtenido de http://transportesedimentos.tripod.com

Fdez, V. C. (2000). Guia metodologica para la evaluacion del impacto ambiental. Madrid: Grupo Mundi-Presa.

Galindo, Silva (2016). IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR EL USO DE MAQUINARIA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.

Gutierrez, H. m. (s.f.). Campus virtual univalle. Obtenido de campusvirtual.univalle.edu.co

López, Y. J. (2017). ¿Qué es la ecología? Estado de Hidalgo.

Martínez, Gómez (2013). FORMULACIÓN DE LAS OBLIGACIONES MÍNIMAS REQUERIDAS LIGADAS A CADA PERMISO, PARA OTORGAR LICENCIAS AMBIENTALES DEL SECTOR DE HIDROCARBUROS EN COLOMBIA. Universidad de La Salle, Bogotá.

Morfología y dinámica fluvial (s. f). Obtenido en http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/16465/mod_resource/content/0/morfologia.pdf

Montagut, Patiño (2015). EL IMPACTO DE LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN LOS ASPECTOS SOCIECONOMICOS Y LOS CAMBIOS EN LOS VALORES DEL TERRENO EN UNA ZONA EN DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR. Universidad Santo Tomas, Bogotá.

OBRAS FLUVIALES (2014). Obtenido en http://www.dep.hidraulica.efn.uncor.edu/wp-content/uploads/2014/05/FLUVIAL.pdf

Ordoñez, Parra (2017). INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE VIAL: UN FACTOR DE ATRASO PARA LA COMPETITIVIDAD DE COLOMBIA EN LA ALIANZA PACÍFICO. Universidad de La Salle, Bogotá.

Sánchez, Gallardo, Márquez (2011). ¿LA INFRAESTRUCTURA VIAL COLOMBIANA IMPULSA LA COMPETITIVIDAD DEL PAIS?

Ramonell (1997). Geomorfología de cauces aluviales. Obtenido en http://infofich.unl.edu.ar/upload/494513ade4aaa90a561fa4ebba346dbb068e045f.pdf

Rodríguez, Sánchez (2013). FORMULACIÓN DE LAS OBLIGACIONES MÍNIMAS REQUERIDAS LIGADAS A CADA PERMISO, PARA OTORGAR LICENCIAS AMBIENTALES DEL SECTOR MINERO EN COLOMBIA. Universidad de La Salle, Bogotá.

Vide, J. P. (2002). Ingenieria de rios. Barcelona: universitat politecnica de cataluny, sl.

ADSORCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUA A PARTIR DEL LOS RESIDUOS DE CÁSCARAS DE NARANJA EN TRES CONDICIONES DE ESTUDIO

W.J. Valero[1], T.C. Ramírez[2], J.A. Villamizar[2*]

[1] Investigador independiente
[2,2] Universidad Nacional Experimental del Táchira

[*]J.A. Villamizar: Laboratorio de Investigación Ambiental y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Experimental del Táchira, Av. Universidad, Pueblo Nuevo, San Cristóbal, código postal 5001, Venezuela. Email: tonovilla9@gmail.com

Abstract

The consumption and industrial processing of the orange generate significant organic waste, which can be used in the extraction of essential oils, pectin, among others. Citrus shells can be used as by-products of potential use as raw materials for the elaboration of some materials for environmental application. The objective of the present investigation is to evaluate the residues of the citrus rind as a natural adsorbent of hexavalent chromium (Cr^{+6}) in water, which were collected in juice sales, without distinction in degree of maturation, in such a way that it can be minimize the problems associated with the accumulation of organic waste by transforming it into value-added materials. The study was carried out in three conditions: the shells without prior use, extraction of essences and the remainder of this process obtaining pectin, the physical-chemical properties (ashes, fiber, grease, protein and carbohydrates) were determined; as well as colorimetric analyzes were performed to evaluate the adsorbent capacity of Cr^{+6} with removals up to 95.42% for Cr^{+6} concentrations of 0.1 and 0.2 mg / L, and 81.49% in solutions of 0.4 and 0.6 mg / L. The importance of the present investigation lies in the achievement of a useful by-product since it was shown that even after hydro-distillation and acid hydrolysis, the residue still has properties for the adsorption of the metal in water, since the removal percentages are acceptable compared to other investigations, therefore it contributes to the transformation of waste and purification of waters that pollute the environment.

Key words: adsorption, water, chrome, orange, residue

Adsorción de cromo hexavalente en agua a partir del los residuos de cáscaras de naranja en tres condiciones de estudio

Resumen

El consumo y procesamiento industrial de la naranja, generan residuos orgánicos significativos que pueden emplearse en la extracción de aceites esenciales, pectina entre otros. Las conchas cítricas pueden ser aprovechadas como subproductos de potencial uso como materias primas para la elaboración de algunos materiales de aplicación ambiental. El objetivo de la presente investigación es evaluar los residuos de la corteza cítrica como adsorbente natural de cromo hexavalente (Cr^{+6}) en agua, las cuales fueron colectadas en ventas de jugo, sin distinción en grado de maduración, de tal manera que se pueda minimizar la problemática asociada a la acumulación de desechos orgánicos mediante su transformación en materiales con valor agregado. El estudio se llevó a cabo en tres condiciones: las cáscaras sin aprovechamiento previo, extracción de esencias y al remanente de este proceso obtención de pectina, se determinaron las propiedades físico-químicas (cenizas, fibra, grasa, proteína y carbohidratos); así como también se realizaron los análisis colorimétricos para la evaluación de la capacidad adsorbente de Cr^{+6} con remociones hasta 95.42% para concentraciones de Cr^{+6}de 0.1 y 0.2 mg/L, y 81.49% en soluciones de 0.4 y 0.6 mg/L. La importancia dela presente investigación radica en el logro de unsubproducto útil, pues se evidenció que aún después del la hidrodestilación e hidrólisis ácida, el residuo aún presenta propiedades para la adsorción del metal en agua, pues los porcentaje de remoción son aceptables en comparación con otras investigaciones, por ende se contribuye a la transformación de residuos y depuración de aguas que contaminan el ambiente.

Palabras clave: adsorción, agua, cromo, naranja, residuo.

Introducción

El crecimiento demográfico, la concentración de la población en zonas urbanas, el desarrollo ineficaz del sector industrial y los cambios en patrones de consumo, entre otros, han incrementado la generación de residuos y desechos sólidos en los pueblos y ciudades (Sáez y Urdaneta, 2014). Los cuales constituyen a nivel mundial un problema para la sociedad, trayendo consigo, un aumento descontrolado de estos, desencadenando problemas asociados a la propagación de enfermedades, la contaminación del ambiente y la disminución de espacios aptos para su disposición final. Por esta razón, el manejo de los residuos sólidos se ha considerado como un tema ambiental urgente, tratando de buscar nuevas formas para su reducción y aprovechamiento. Por tal motivo, esta investigación

busca aprovechar las propiedades del residuo generado por las cortezas de la naranja luego de la extracción de los aceites esenciales y la pectina (considerados como sub productos en el sector industrial) y establecer la relación de las propiedades sin dichos aprovechamientos, con el propósito de establecer patrones de eficiencia como adsorbente natural del cromo hexavalente en agua. En el mismo orden de ideas Ordóñez (2015), define la adsorción como una técnica de tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados mediante el empleo de materiales naturales, la cual ha sido sugerida como una alternativa físico-químico. Del mismo modo, Pinzón y Cardona (2008) mencionan a la adsorción con cáscaras de la naranja como un adsorbente ideal, pues representan un bajo costo económico por ser considerados residuos y presentan características ideales para la remoción del metal en estudio.

Materiales y métodos

Se utilizaron los residuos de cortezas de naranjas (Citrus sinesis L.) con diferente grado de maduración para la realización de la investigación, se colectaron en puestos de ventas de jugo de naranja ubicados en San Cristóbal, Táchira. Las cuales se les extrajeron los aceites esenciales (hidrodestilación) y al residuo de las cáscaras remanente la pectina (hidrólisis ácida). Además, se realizaron pruebas a las mismas sin ningún tratamiento para establecer posibles diferencias en sus características y eficiencia de remoción de cromo hexavalente. En la investigación se aplicaron las siguientes etapas:

Preparación de las muestras

Para facilitar el análisis de las características físico-químicas de las cáscaras y posterior aplicación como adsorbente, se preparó una harina siguiendo el procedimiento establecido por López (2007).

Residuos de naranja sin tratamiento (ST), se cortaron, se lavaron y secaron en estufa a 105ºC.

Residuos de naranja después de la hidrodestilación (H), se escurrieron y secaron en estufa a 105ºC.

Residuos de naranja después de hidrodestilación y extracción de pectina por hidrólisis ácida (HP), se escurrieron y secaron en estufa a 105ºC.

Los residuos en las tres condiciones de estudio fueron pulverizados y almacenados en envases de vidrio para su posterior análisis.

Caracterización

Se determinaron las siguientes características físico-químicas de las cáscaras de naranja: pH, ceniza, grasa, fibra bruta, proteína bruta y carbohidrato. Además, todos los análisis se llevaron a cabo por triplicado con las harinas obtenidas de los residuos de la naranja sin tratar (ST), después de la hidrodestilación y extracción de pectina por hidrólisis ácida (H-P), y solo hidrodestilación (H). A su vez, se determinó la desviación estándar de los análisis.

Adsorción de cromo hexavalente

Para la medición del cromo se siguió el método colorimétrico de la difenilcarbazida descrito por APHA, AWWA Y WPCF (1992) y se construyó la curva de calibración con las siguientes concentración de 0.1, 0.2, 0.4 y 0.6 mg/L Cr^{+6}. A fin de generar un modelo lineal y determinar concentraciones desconocidas. Respecto al análisis de la adsorción se pesó 1 g de las cáscaras en las tres condiciones de estudio, las cuales fueron vertidas en soluciones de igual concentración a las de la curva de calibración y fueron sometidas a agitación constante (250 r.p.m.), durante 15 min. a 60°C para luego ser filtrado y establecer el nivel de remoción del metal pesado, para lo cual se empleó la Ecuación (1).

$$R = \frac{100(Co-Cf)}{Co}$$ **Ecuación (1)**

Donde:

Co: concentración inicial de cromo hexavalente
Cf: concentración final de cromo hexavalente
R: porcentaje de remoción de cromo hexavalente

Resultados y discusión

Caracterización de los residuos de las cáscaras de naranja

Los resultados de las propiedades físicas y químicas del residuo de la cáscara de naranja se detallan en la Tabla 1, donde se presentan los valores promedios de cada muestra, siendo estas muy importantes en relación con el control de calidad de los residuos con aprovechamiento ambiental.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas en las harinas obtenidas de cáscara de la naranja

CN	pH	Ceniza (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Proteína (%)	Carbohidrato (%)
Muestra 1						
ST	4.43 ± 0.09	5.74 ± 0.79	1.80 ± 0.12	10.93 ± 0.58	9.78 ± 1.98	56.37
H	4.49 ± 0.03	0.23 ± 0.02	1.54 ± 0.02	11.02 ± 0.14	8.91 ± 0.60	68.08
HP	2.79 ± 0.03	0.02 ± 0.01	2.48 ± 0.38	44.38 ± 0.04	7.67 ± 0.03	35.76
Muestra 2						
ST	4.25 ± 0.05	4.78 ± 0.47	4.61 ± 0.83	12.18 ± 0.02	8.62 ± 0.40	49.98
H	4.72 ± 0.08	0.19 ± 0.03	3.84 ± 0.66	17.03 ± 0.06	8.28 ± 0.53	55.09
HP	2.85 ± 0.05	0.03 ± 0.00	6.19 ± 0.12	47.66 ± 0.08	7.64 ± 0.08	30.35
Muestra 3						
ST	4.20 ± 0.10	4.19 ± 0.17	3.26 ± 0.44	11.44 ± 0.32	8.53 ± 0.14	52.96
H	4.30 ± 0.00	0.27 ± 0.02	2.59 ± 0.20	16.09 ± 0.84	8.44 ± 0.08	58.27
HP	2.75 ± 0.05	0.05 ± 0.01	5.66 ± 0.06	48.72 ± 0.23	7.74 ± 0.08	26.08

Nota: CN (Cáscara de Naranja); ST (sin tratamiento); H (Hidrodestilación); HP (Hidrodestilación e hidrólisis ácida)

El pH resultante en los residuos fue, sin tratamientos previos (ST) 4.20 – 4.43; luego de la extracción de aceites esenciales (H) 4.30 – 4.72 y después de la extracción de pectina (HP) 2.75 – 2.85. Con respecto a otras investigaciones, expresan un valor con pH igual a 3.93 (Cerón y Cardona, 2011) y 4.8 (Ordoñez, 2015); aunado a que el pH puede cambiar según la especie, madurez y tamaño de la fruta (García y Granillo, 2017). Con respecto a los resultados de esta investigación, se puede decir que son parecidos a los reportados en la literatura para las harinas ST y H, mientras que para la HP disminuyen debido a la hidrólisis ácida aplicada a las muestras.

En cuanto, al porcentaje de ceniza promedio varían entre ST (4.19-5.74%); H (0.19-0.27%)y HP (0.02-0.05%). La disminución del contenido entendida como presencia de minerales, se justifica por las condiciones para lograr las muestras H y HP. Debido a que, las cenizas son compuestos minoritarios de la biomasa con bajo peso molecular; además de ser hidrofílicos (Morales, 2016).

En relación, a la grasa extraída en las tres condiciones ST (1.80-4.61); H (1.54-3.84) y HP (2.48-6.19), estas varían en las tres muestras, probablemente a las diferencias entre las características morfológicas y estado de maduración de las cáscaras analizadas. Además, el contenido de grasa está relacionado con los aceites esenciales presentes en la corteza del cítrico (Chaparro, 2013). Por tal razón, cuando se somete la muestra al proceso de hidrodestilación, se aprecia una disminución de este valor; debido a que, el 18% de las grasas quedan en las esencias extraídas y otra parte en el hidrodestilador.

No obstante, los valores arrojados, luego de separar la pectina, evidencian un incremento de este parámetro. Puesto que, el solvente empleado (hexano) puede arrastrar compuestos no polares formados en la hidrólisis ácida. En tal sentido, los sub-productos generados en la hidrólisis, se deben al rompimiento de los enlaces de la celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo constituyentes de la glucosa, galactosa, compuestos fenólicos, entre otros (Virreira y Góngora, 2014). Además que, los diversos métodos empleados no son selectivos para cuantificar este parámetro. Por cuanto, detecta como grasa todo material soluble en el

solvente que se emplean en la extracción; incluyendo esteroles, ácidos grasos libres, pigmentos, carotenoides, clorofila, entre otros (Verdini, 2016).

El porcentaje de fibra varía en las muestras en torno a éste contenido, desde ST (1.80-4.61%); H (1.54-3.84%) hasta HP (2.48-6.19%). Puesto que, la mayoría de los compuestos bio-activos como la fibra se encuentran primordialmente en la cáscara de los frutos; debido a la composición química de la pared celular (Chaparro, 2013). Por otro lado, al subyugar las muestras a los procesos descritos anteriormente, el remanente percibe un incremento. Es factible que se deba a la cantidad de sustancias adsorbidas por el material estudiado.

Los resultados para la proteína fueron: en las muestras ST (8.53-9.78%); H (8.28-8.91%) y HP (7.64-7.74%). No reflejaron gran variación en las condiciones estudiadas; sin embargo, están en el rango de los valores reportados por otros autores antes mencionados, con porcentajes desde 3,53% hasta 15,14%.

Los carbohidratos presentes en las muestras, ST (49.98-56.37%); H (55.09-68.08%) y HP (26.08-35.76%), con variaciones que se encuentran por encima de valores reportados por otros estudios (10,15%) (López, 2007) y (15,49%) (Virreira y Góngora, 2014); alegando que los valores altos se debe al rompimiento de enlaces que forma glucosa y galactosa.

Curva de calibración Se construyó la curva de calibración, para lo cual se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a las concentraciones de las soluciones patrón comprendidas entre 0 mg/L y 0.6 mg/L como se observa en la Tabla 2. Posteriormente, se comprobó la confiabilidad del modelo lineal simple de la curva de calibración para determinar la concentración de cromo hexavalente utilizada en los estudios de remoción del metal; para ello se utilizó el software Microsoft Excel 2007, obteniendo un coeficiente de determinación de 0.999, como se aprecia en la Figura (1); indicando el cumplimiento con las condiciones de linealidad del método analítico. Teniendo en cuenta que, Suarez et al. (2009) especifican que el coeficiente de determinación (R^2) debe ser mayor a 0.95. Simultáneamente se consiguió la Ecuación (2) utilizada para hallar las concentraciones de cromo en las muestras sintéticas.

Tabla 2. Valores para la curva de calibración.

Concentración (mg/L)	Absorbancia
0	0
0.1	0.026
0.2	0.059
0.4	0.126
0.6	0.187

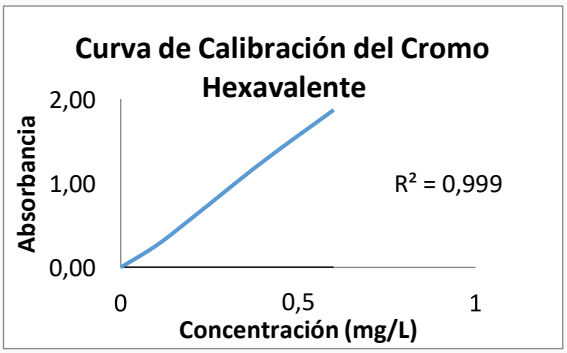


Figura 1. Curva de calibración de cromo hexavalente

$$Concentracion = \frac{absorbancia + 0.0029}{0.3167}$$ **Ecuación (2)**

Remoción de cromo hexavalente

A continuación se exponen los resultados obtenidos de los ensayos realizados, resumidos en la Tabla 3. Los cuales indican que los residuos de la naranja obtenido en las tres condiciones de estudio, remueven efectivamente cromo hexavalente en las cuatro concentraciones (0.1; 0.2; 0.4 y 0.6 mg/L Cr^{+6}); resultando la remoción del metal en las muestras ST (62.53-95.42%), H (25.74-86.11%) y HP (19.36-71.58%). La adsorción de cromo hexavalente puede deberse a la presencia de los grupos carboxilos en la pectina y al grupo alcohólico de la celulosa, de la corteza del cítrico; siendo estos posibles sitios de unión para los metales (Cerón y Cardona, 2011). Analizando los resultados expuestos anteriormente, se infiere que las muestras sin tratamiento, para concentraciones de 0.2 y 0.1 mg/L removieron alrededor del 90% de cromo; mientras que a concentraciones de 0.4 y 0.6 mg/L se obtuvo un porcentaje de remoción aproximado de 60% a 80%, mientras que las muestras con tratamiento H y HP se observa una disminución del porcentaje de remoción para todas las concentraciones. Al comparar los resultado con otros autores, quienes afirman que las cortezas de la naranja tienen la capacidad de adsorber el 100% de cromo (VI) en concentraciones bajas (50 mg/L). Cabe destacar que el contacto de los residuos con la solución fue por mayor tiempo (3 horas), se evidenció una eficiencia menor para el caso del presente estudio. Debido, a la cantidad del adsorbente (1g) y a las condiciones de trabajo diferentes (15 min. de contacto). Por otra parte, el tamaño de la partícula de la harina empleada, la temperatura, el pH, el tiempo en contacto; son factores que afectan la remoción de dicho elemento (Tejada, et al., 2015).

Tabla 3. Adsorción de cromo hexavalente empleando residuos de cáscaras de naranja como absorbente

Cáscara de naranja	Concentración inicial (mg/L Cr^{+6})	Concentración final (mg/L Cr^{+6})	Porcentaje de remoción (%)
Muestra 1			
ST	0.1	0.009	90.84
	0.2	0.016	91.95
	0.4	0.074	81.49
	0.6	0.159	73.45
H	0.1	0.026	73.63
	0.2	0.036	81.92
	0.4	0.163	59.15
	0.6	0.286	52.32
HP	0.1	0.032	67.95
	0.2	0.125	37.64
	0.4	0.323	19.36
	0.6	0.439	26.88
Muestra 2			
ST	0.1	0.009	90.84
	0.2	0.009	95.42
	0.4	0.080	80.03
	06	0.211	64.85
H	0.1	0.014	86.11
	0.2	0.091	54.45
	0.4	0.273	31.68
	0.6	0.446	25.74
HP	0.1	0.029	71.27
	0.2	0.057	71.58
	0.4	0.237	40.76
	0.6	0.396	33.95
Muestra 3			
ST	0.1	0.009	90.84
	0.2	0.018	90.76
	0.4	0.105	73.63
	0.6	0.225	62.53
H	0.1	0.030	69.69
	0.2	0.072	63.85
	0.4	0.173	56.86
	0.6	0.381	36.48
HP	0.1	0.039	60.53
	0.2	0.086	57.14
	0.4	0.181	54.65
	0.6	0.278	53.61

Nota: ST (sin tratamiento); H (Hidrodestilación); HP (Hidrodestilación e hidrólisis ácida)

Conclusiones

La investigación aportó una alternativa para el aprovechamiento de los residuos de las cáscaras de naranja resultantes de la hidrodestilación e hidrólisis ácida. Puesto que, pueden ser utilizados como adsorbente natural en el tratamientos de aguas residuales con trazas de cromo hexavalente. De tal manera, se logra solventar una problemática existente en la industria agroalimentaria para el manejo de los residuos orgánicos; así como también, una propuesta para la depuración de aguas residuales con la presencia de este metal pesado.

Referencias

APHA. AWWA. Y WPCF. (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid (España). Ediciones Díaz Santos, S.A.

Cerón, Ivonne. y Cardona, Carlos. (2011). Evaluación del proceso integral para le obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cascara de naranja. Revista Ingeniería y Ciencia**7**(13)1794-9165. Acceso el 02 de junio de 2017, disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v7n13/v7n13a04.pdf

Chaparro, Juana. (2013). Utilización de la cascara de naranja como fuente de fibra, prebiótico y antioxidante en productos cárnicos cocidos. Acceso el 01 de julio de 2017, disponible en: http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI15989.pdf

García, Rebeca. y Granillo, Yasser. (2017). Evaluaciones de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (Citrus SinensisLinnOsbeck), Laboratorios de química UNAN-MANAGUA, II semestre 2016. Acceso el 26 de marzo de 2018, disponible en: http://repositorio.unan.edu.ni/4275/1/96798.pdf

López, Joyce. (2007). Elaboración y validación de una dieta balanceada para la engorda de ovinos, a partir de harina de bagazo de naranja.Acceso el 03 de Junio de 2017, disponible en: https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10964/Elaboracion%20y%20validacion%20dieta%20de%20ovinos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Morales, Silvia. (2016). Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos.Acceso el 04 de Febrero de 2018, disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf

Ordoñez, Annabell. (2015). Bioadsorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (citrus sinensis) molida, machala. Acceso el 05 de Junio de 2017, disponible: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1897/1/CD00308.pdf

Pinzón, Martha. y Cardona, Angélica. (2008). Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente. Revista Bistua01204211. Acceso el 05 de Junio de 2017, disponible en:http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/publicaciones/bistua_revista_ciencias_basica/2008_1/15042010/art_03.pdf

Sáez, Alejandrina. y Urdaneta, Joheni. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Revista Omnia**20**(3)121-135. Acceso el 28 de Junio de 2017, disponible: http://www.redalyc.org/html/737/73737091009/

Suarez, Raibel. Arévalo, Evelia. Linares, Ledy. Ustáriz, Francisco. y Hernandez, Gladys. (2009). Validación de un método analítico para la determinación de magnesio eritrocitario. Revista Avances en Química 4 (2) 1856-5301. Acceso el 12 de Abril de 2018, disponible en: http://www.redalyc.org/pdf/933/93313204001.pdf

Tejada, Candelaria. Quiñones, Edgar. Tejada, Lesly. y Marimón, Wilfredo. (2015).Adsorción de cromo hexavalente en soluciones acuosas por cascaras de naranjas(Citrus sinensis). Revista Producción + Limpia **10**(01). Acceso el 29 de Abril de 2018, disponible en: http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/771

Verdini, R. (2016). Métodos generales de análisis de alimentos. Acceso el 29 de Marzo de 2018, disponible en: http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/124160/mod_resource/content/2/2016-FARMACIA%20METODOS%20GENERALES.pdf

Virreira, Julio. y Góngora, Oscar. (2014). Caracterización fisicoquímica de las cáscaras de naranja (Citrus sinensis L.) y pomelo (Citrus grandis), para obtener bioetanol-iquitos. Acceso el 03 de Juniode 2017, disponible en: http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4258

2, 3 y 4 de Septiembre 2020
Bayern International
63° Congreso Internacional VIRTUAL
Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables
BID
BANCO MUNDIAL BIRF • AIF

EXPERIENCIAS EN GESTIÓN DE RESIDUOS APROVECHABLES PARA LA PROMOCIÓN DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LOS MUNICIPIOS DE TABIO, SIBATE Y NEMOCON- COLOMBIA

Camilo Andrés Vargas Terranova[1*], Julieth Tatiana Baquero Alba[2], Javier Rodrigo Illari[3]

[1,3] Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València -España. [2] Consultora en Ingeniería Ambienta y Sanitaria. Colombia.

*Camilo A. Vargas Terranova: Programa de doctorado en Ingeniería del Agua y Medioambiental, Universitat Politècnica de València. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente ETSI Caminos canales y Puertos, Camino de Vera s/n, Código Postal: 46022, València -España. Email: cavarter@doctor.upv.es

Abstract

Throughout history, the generation of waste has been an issue that has gained strength, this due to the generation of consumerism and its progressive increase in an excessive way. Thus, in Colombia, Decree 0596 of 2016 emerges, referring to " scheme of the activity of utilization of the public cleaning service and the transitory regime for the formalization of ex officio recyclers "(Ministry of Housing, City and Territory, 2016) where provisions are made regarding the transition from collection centers to Stations of Classification and Use and the progressive formalization of associations of recuperators who seek to belong to the public service. In fact, in different parts of the country, the associations of recuperators are going through the process of formalization and improvement of their work facilities for this reason, the generation of alternatives and tools aimed at developing and improving the living conditions in each of the municipalities, involves different economic sectors being monetary possibilities an aggregate for their development, in this way the implementation of projects is developed in an engineering manner in municipalities that need and have the willingness to improve, implement and project to a continuous evolution to from the application of different projects. The municipalities of Tabio, Sibate, Nemocon belonging to the department of Cundinamarca are characterized by tourist activity, however, in these municipalities the resources available for activities are limited, so it is decided to implement and apply engineering techniques to them.

KeyWords: Recycling, waste management, circular economy.

Experiencias en gestión de residuos aprovechables para la promoción de modelos de economía circular en los municipios de Tabio, Sibate y Nemocon-Colombia

Resumen

A lo largo de la historia, la generación de residuos ha sido un tema que ha tomado fuerza, esto debido a la generación del consumismo y su aumento progresivo de manera desmedida, Así pues, en Colombia surge el Decreto 0596 del 2016, referente al "esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio" (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2016) en donde se dictan disposiciones referentes a la transición de centros de acopio a Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento y la formalización progresiva de asociaciones de recuperadores que buscan pertenecer al servicio público. En efecto, en diferentes lugares del país, las asociaciones de recuperadores están atravesando el proceso de formalización y mejoramiento de sus instalaciones de trabajo por tal motivo, la generación de alternativas y herramientas encaminadas a desarrollar y mejorar las condiciones de vida en cada uno de los municipios, involucra distintos sectores económicos siendo las posibilidades monetarias un agregado para el desarrollo de las mismas , de esta manera se desarrolla la implementación de proyectos de forma ingenieril en municipios que necesiten y tengan la disposición de mejorarar, implementar y proyectarse a una continua evolución a partir de la aplicación de distintos proyectos. Los municipios de Tabio, Sibate, Nemocon pertenecientes al departamento de Cundinamarca se caracterizan por la actividad turística, sin embargo, en estos Municipios los recursos dispuestos para las actividades son limitados, por esto, se decide implementar y aplicar técnicas ingenieriles a estos.

Palabras clave: Reciclaje, gestión de residuos, economía circular.

Introducción

La evaluación ambiental es el resultado de la valoración de impactos positivos y negativos en un proyecto, este incluye las actividades de adecuación, mitigación, corrección y compensación en el Municipio o lugar donde se disponga el objeto a trabajar. Los municipios de Tabio, Sibate y Nemocon se caracterizan por la actividad de aprovechamiento que se desarrolla en cada uno de ellos por parte de un grupo de personas que en su mayoría son de la tercera edad, las cuales tienen dos finalidades para desarrollar esta labor la primera es una forma de subsistencia y la segunda disminuir la cantidad de residuos generados en el municipio, los tres municipios tienen un área de influencia directa con cada uno de los habitantes del mismo, y una incidencia positiva sobre la comunidad y el medio ambiente en general. Las posibilidades y alternativas de proyecto se basan en documentos y registros generados por el municipio anteriormente, para el factor ambiental más específicamente la parte de residuos sólidos aprovechables, considera un documento

primordial para la formulación de actividades y proyectos, este documento hace referencia al Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos donde involucra las cantidades de residuos generados y una caracterización inicial de los materiales dispuestos en el municipio.

El PGIRS es un Instrumento de planeación municipal o regional que buscan garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos y la prestación del servicio de aseo en los ámbitos municipal o regional. Es responsabilidad de los municipios y/o distritos es velar porque la prestación del servicio público de aseo y se dé en el marco de una adecuada planeación y gestión integral de los residuos sólidos en todo su territorio, a partir de principios de calidad, eficiencia, solidaridad y sostenibilidad, en función de garantizar la presencia de la comunidad en la gestión y fiscalización del servicio, lo que permite el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos. Esta planeación debe estar orientada a disminuir o prevenir la generación de residuos, promoviendo el aprovechamiento, la valorización, el tratamiento y la disposición final. (Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo -IRR-; Ministerio de Vivienda -MINVIVIENDA-; United States Agency for International Development -USAID-, 2015)

El apoyo para la aplicación de este PGIRS va de la mano con los recuperados ambientales que buscan por medio de su labor pertenecer formalmente a una asociación de recuperadores y así dignificar su labor la cual trae impactos positivos tales como la disminución en la producción de residuos sólidos, disminución en generación de plagas, vectores u olores ofensivos, la actividad de aprovechamiento es completaría al servicio público de aseo, comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje (Minvivienda, 2016).

La condición actual de cada uno de los municipios mencionados anteriormente comprende una etapa dentro de lo que se llama la economía circular, la cual implica el estudio y análisis de factores tales como el diagnostico, implementación, resultados, sistema tarifario y la vinculación de operarios que se dediquen exclusivamente a la realización y aprovechamiento de los residuos del municipio. El estudio detallado de los municipios establece unos parámetros que permiten definir las actividades a desarrollar en cada una, dando una etapa inicial de diagnóstico para cada uno, pero sus resultados y su progreso es únicamente dependiendo de las condiciones e insumos que presente el municipio.

La evaluación y la implementación de los proyectos ingenieriles tienen como aspecto en común para estos municipios es el tratamiento de los residuos sólidos aprovechables y la dignificación de la labor de los recuperadores ambientales, sin embargo, la condición de desarrollo de cada uno es diferente y el punto de entrega de cada uno es distinto.

Materiales y Métodos

La Figura 1 muestra las 3 fases, las cuales ayudarán a dar cumplimiento con los objetivos propuestos en el proyecto en el periodo que comprende de febrero a junio del año en curso.

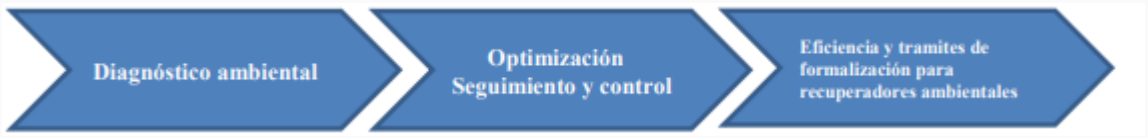


Figura 1. Fases de la investigación.

Fase 1. Diagnóstico Ambiental

En esta etapa se identificaron las principales falencias y necesidades de cada municipio en cuanto a la mitigación, corrección y compensación de la gestión de residuos sólidos aprovechables, se determinaron áreas de influencia directa , indirecta y área operativa donde existen diferentes grados de sensibilidad y diferentes oportunidades de desarrollo del proyecto, cada uno de las propuestas desarrolladas dentro de este campo de estudio , permite establecer la disposición y los recursos que posee un municipio, de igual forma determina el segundo tema hallado el cual es la población involucrada dentro de esta labor donde el principal punto en comun de los 3 municipios es que las personas dedicadas a esta labor no se encuentran formalmente vinculadas a la empresa de servicios públicos de cada municipio, por tal motivo nace la primera propuesta que es la dignificación de la labor frente al municipio y su correcta formalización ante la empresa de servicios públicos según corresponda.

Los municipios en cuestión basan las proyecciones de alternativas y de actividadesteniendo en cuenta el Plan Integral de Gestión de Residuos (PGIRS), otorgado por la Alcaldía donde se realizan las siguientes actividades para la interpretación y determinaciónde las falencias, las cuales corresponden a una lectura detallada donde se evidencia un mayor grado de importancia en los aspectos relacionados con residuos, sistema tarifario, cantidad de residuos generados y la distribución socioeconómica, adjunto a esto se identificó un aumento en la cobertura del servicio público de aseo basado en el registro anterior otorgado por el PGIRS, de igual forma se optimizo la separación y el control de residuos sólidos en el municipio. Por otra parte, otra actividad ligada a la identificación de las falencias es la elaboración de rutas selectivas para material aprovechable y un monitoreo donde se establece la calidad de aire y suelo.

Fase 2. Optimización Seguimiento y Control

Para realizar un control y seguimiento sobre la mejora y optimización en cuanto a la recolección y separación de los residuos aprovechables se realizó una comparación entre el cuarteo diagnóstico y los cuarteos realizados durante el periodo que comprende la aplicación y ejecución del proyecto, donde se hizo un promedio mensual de los residuos recolectados para tener un compendio de los materiales recuperados, dentro de las actividades programadas a partir del diagnóstico del PGIRS se implementaron las rutas selectivas, se hicieron capacitación y trabajo comunitario para grupos de interés y adicional un monitoreo para establecer las condiciones antes, durante y después del proyecto, de igual forma el almacenamiento y la recolección de los residuos varía dependiendo de las condiciones y el espacio dado para realizar la labor el cual para los tres municipio se realiza la adecuación del terreno donde se establecerá la Estación de Clasificación y aprovechamiento (ECA), por otra parte el Municipio de Nemocon realizo un seguimiento a las tarifas cobradas hasta el segundo ciclo de 2018 dado que una de las propuestas es la formulación y ajuste del sistema tarifario para dar inclusión a la tarifa de aprovechamiento teniendo en cuenta cada uno de los estratos y los subsidios respectivos.

Fase 3 Eficiencia y tramites de formalización para recuperadores

Esta etapa permite establecer las condiciones y los resultados finales, sin embargo cabe resaltar que los alcances y cada uno de los hallazgos varían según los alcances ,por tal motivo los resultados se organizaran dependiendo del alcance de los mismos, es decir, se ubicaran estratégicamente para poder realizar indirectamente una comparación en cuanto a los resultados, las oportunidades y el desarrollo de los proyecto en cada municipio, en el municipio de Sibate se realizó un estudio preliminar para determinar el predio adecuado para establecer la ECA y dar un mayor alcance a la recuperación de residuos, el proceso de formalización de los recuperadores ambientales resulto favorable permitiendo una condición de trabajo diferente para los recuperadores, en el municipio de Tabio, las condiciones cambian respecto a la formalización de los recuperadores dado que al ser pertenecientes a una fundación deben primero disolver o retirarse de la misma para dar continuidad al proceso, sin embargo el municipio logra con ayuda de la alcaldía establecer su propia estación de clasificación y aprovechamiento, en el municipio de Nemocon se realizó la adecuación de la estación de clasificación y aprovechamiento sin embargo el lugar fue dado por la alcaldía por tal motivo no fue necesario un estudio de suelo, la formalización de los recuperadores ambientales se realizó correctamente y dando cumplimiento a la normativa legal para un operador de oficio, así mismo, se realizó el estudio de un sistema tarifario donde se establecieron los costos aproximados de aprovechamiento.

Cada municipio desarrollo actividades en común tales como socialización de cada proyecto frente a la comunidad o población municipal, el apoyo de la alcaldía estuvo presente durante la realización del mismo, se realizaron monitorios para indicar las condiciones en las cuales se encontraba y se encontró al finalizar el proyecto.

Resultados y discusión

Fase 1. Diagnóstico Ambiental

El proyecto que se realizó ha contribuido de manera positiva al municipio, dado que permitió identificar y resaltar aspectos importantes como lo fueron los ambientales, sociales y económicos incluyendo todos los sectores socioeconómicos, así mismo, la inclusión de todos los aspectos ambientales permitió la conformación y la mitigación de las falencias encontradas de manera más eficaz. Dentro de los puntos que se consideran importantes para obtener una mayor cantidad de residuos se encuentran las rutas selectivas dispuestas a partir de un diseño donde involucra la recolección y transporte de residuos sólidos y residuos aprovechables, se tiene como consideración que las rutas diseñadas en el ruteo son las que se están implementando actualmente, mejorando la gestión de los residuos.

Fase 2. Optimización Seguimiento y control

De acuerdo al indicador % de participación hubo una participación del 100% de la comunidad de cada uno de los municipios en cada actividad desarrollada. Fue importante llevar a cabo las actividades del plan comunitario para el cumplimiento de los objetivos propuestos, dado que sin la participación continua de la comunidad en la oferta de mano de obra, asistencia, atención y recepción de conocimientos no hubiera sido posible la implementación y finalización del proyecto

Fase 3. Eficiencia y tramites de formalización para recuperadores ambientales

Una de las consecuencias positivas de mejorar el sistema de aprovechamiento de los residuos en los municipios, es que se mejoran las condiciones de vida de las personas en cuanto a salubridad, dado que evitaría que se presentarán escenarios de emergencias sanitarias como las ocurridas en Bogotá por falta de un sistema eficiente de recolección de residuos. Así mismo la formalización de los recuperadores ambientales permite mayor importancia ante el municipio y da oportunidad de generación de empleo para el mismo.

Conclusiones

En cuanto al primer objetivo, referente a la optimización de la ruta de recolección selectiva, se observó inicialmente que el municipio contaba con una única ruta ineficiente, en la que los tres grupos de recuperadores trabajan de manera desorganizada, por lo que surgían diversos disgustos y discusiones por dicho motivo. Es entonces, cuando el grupo de trabajo, de mano con la Empresa de Servicios Públicos EMSERTABIO, propone 3 microrutas de recolección selectiva, una para cada grupo recuperador y de carácter rotativo, en la que, cada semana cada grupo tiene su propio sector

Uno de los fines académicos el cual involucra sistemas financiero, social y ambiental hace referencia a la propuesta de un sistema tarifario el cual comprende una tarifa de aprovechamiento por su debida recolección y transporte de residuos aprovechables en el mismo, teniendo en cuenta lo anterior se realizó el cálculo de una tarifa de aprovechamiento a partir de tres (3) flujos de caja, estos flujos de caja corresponden a la tarifa de venta, compra y la ganancia neta del aprovechamiento, es decir no se mantiene un costo unitario desde la recolección del proceso hasta su disposición final o entrega a terceros.

Se dio cumplimiento a la alternativa escogida por el grupo de trabajo para el desarrollo del presente proyecto en la cual se realizaron actividades de capacitación de segregación masiva tanto en una institución educativa como a los usuarios de la ecoruta y paralelo a esto, se realizaron jornadas de entrega de material a los usuarios para que ser incentiven a realizar la separación en la fuente y así entregar sus residuos sólidos de forma adecuada.

Dando cumplimiento al diseño e implementación de la ECA fase I, con especificaciones diferentes en materia de estructura clasificándolo como construcción no convencional por petición de la Alcaldía, en cuanto a la evaluación técnica se determinó que existendiferentes aspectos de deterioro de la instalación, que a mediano o largo plazo podría atentar contra la integridad estructural de la misma, puesto que los materiales no se comparan con la calidad y resistencia de una construcción convencional.

Referencias bibliográficas

PINEDA LOPEZ, L. M. (UNAD), & ARANDA RIVERA, C. F. (UNAD). (2017). DISEÑO DE UN MODELO DE RECOLECCIÓN DE LAS RUTAS SELECTIVAS DE LOS RESIDUOS APROVECHABLES; COMO APOYO A LAS

ASOCIACIONES DE RECICLADORES DE LA CUIDAD DE TUNJA - BOYACÁ. 142. Retrieved from https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13520/3/1049625750.pdf

Rangel, A., & Sánchez, P. (2010). Formulación del sistema de gestión solidaria de residuos reciclables en el radio de acción de Asochapinero involucrando productores y recicladores. Bogotá: Universidad de La Salle.

Guerrero. (2004). Seguimiento, optimización a la gestión integral de residuos sólidos, y formulación de nuevos parámetros para el sistema de manejo de los residuos sólidos reciclables generados en la Universidad de La Salle sede centro. Bogotá. Recuperado en enero de 2018.

RETOS Y LIMITACIONES DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EFECTIVA DE LA ECONOMÍA CIRCULAR: CASO RAEE

B. E. Ortiz 1, M. F. Bustos Cagua 1*, M. J. Toro Bermúdez1

[1]Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.Universidad de La Salle.

*Autor corresponsal: Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle, Carrera 2, No 10 - 70 – La Candelaria, Bogotá D.C. 111711. Colombia. Email: mbustos85@unisalle.edu.co

Abstract

The Colombian legislation, so far proposes a linear model in terms of waste management; in 2005, the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development formulated the Environmental Policy for the comprehensive management of hazardous waste, where it was established that improper handling and its combination with non-hazardous waste at the time of final disposal was mainly due to the absence of a separate handling system. This has been a key point in proposing technical-legal recommendations that involve the implementation of the circular economy in production processes. This is achieved through the analysis of Decree 284 of 2018 and its modification by means of parameterization in a comparative matrix; additionally, the National Circular Economy Strategy is involved as a basic document for formulating recommendations. The overall result was that the application of the principle of extended product liability should be generated in a concrete way, specifying the steps to be followed and adjusting the participation of all users and public service providers.

KeyWords: Comparison, Circular Economy, Normativity, RAEE.

RETOS Y LIMITACIONES DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EFECTIVA DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN COLOMBIA

Resumen

La normativa Colombiana hasta el momento plantea un modelo lineal en cuanto a gestión de residuos; en el año 2005, el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial formuló la Política ambiental para la gestión integral de los residuos peligrosos, en donde se estableció que el manejo inadecuado y su combinación con residuos no peligrosos al momento de realizar la disposición final, se debía principalmente a la inexistencia de un sistema de manejo separado de los mismo. Lo anterior ha sido un punto clave para proponer recomendaciones técnico-jurídicas, que involucren la implementación de la economía circular en los procesos productivos. Esto se logra a partir del análisis del Decreto 284 de 2018 y la modificación del mismo mediante la parametrización en una matriz comparativa; adicionalmente se involucra la Estrategia Nacional de Economía Circular como documento base para formular las recomendaciones. Se obtuvo como resultado global que la aplicación del principio de responsabilidad extendida del producto debe generarse de manera concreta, especificando los pasos a seguir y ajustando la participación de todos los usuarios y empresas prestadoras del servicio público de aseo.

Palabras clave: Comparación, Economía Circular, Normatividad, RAEE.

Introducción

La debida gestión y disposición final de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Colombia carece de una normatividad fuerte y consolidada. A esto se le debe sumar que un gran porcentaje de dichos residuos son dispuestos con elementos de otra índole y esto solo agranda más el problema de recolección y potencial aprovechamiento. El presente proyecto busca entonces identificar los retos y limitaciones existentes en la normatividad colombiana para la gestión efectiva de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), de manera tal que se pueda incorporar la economía circular en cada uno de los procesos que se realicen (desde la separación en la fuente hasta el aprovechamiento y reincorporación en las cadenas productivas). Para lograr lo anterior se realizó un análisis de la normativa colombiana para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos mediante una matriz comparativa, la cual facilitó el proceso de formulación de recomendaciones técnico-jurídicas al relacionar la información con la Estrategia Nacional de Economía Circular. El proyecto consta de tres secciones en las que se describe los materiales y metodología, los resultados y su respectivo análisis, y las conclusiones a las que se han llegado.

Metodología y materiales

Primera fase (análisis de la normativa)

El objetivo principal de la lectura del Decreto 284/18 y la modificación del Decreto 284/18 radica en la identificación de los diferentes contenidos y su calidad ante la gestión integral

de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). De esta manera se puede generar una matriz comparativa que involucra la descripción global por cada artículo presente dentro de los mismos.

Segunda fase (estrategia nacional de economía circular)

Para el desarrollo de la segunda fase fue necesario tener en cuenta la Estrategia Nacional de Economía Circular; en un primer momento se desglosó cada aspecto fundamental que tuviera relación alguna con la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), posteriormente se realizó la comparación de esta información con la matriz de comparación realizada en la primera fase.

Tercera fase (planteamiento de la modificación para la normativa)

La tercera y última fase hace referencia al planteamiento de la modificación para la normativa en gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos vigente en Colombia. Se tuvo en cuenta los análisis comparativos realizados en las fases anteriores y la economía circular como base fundamental para el desarrollo de la misma.

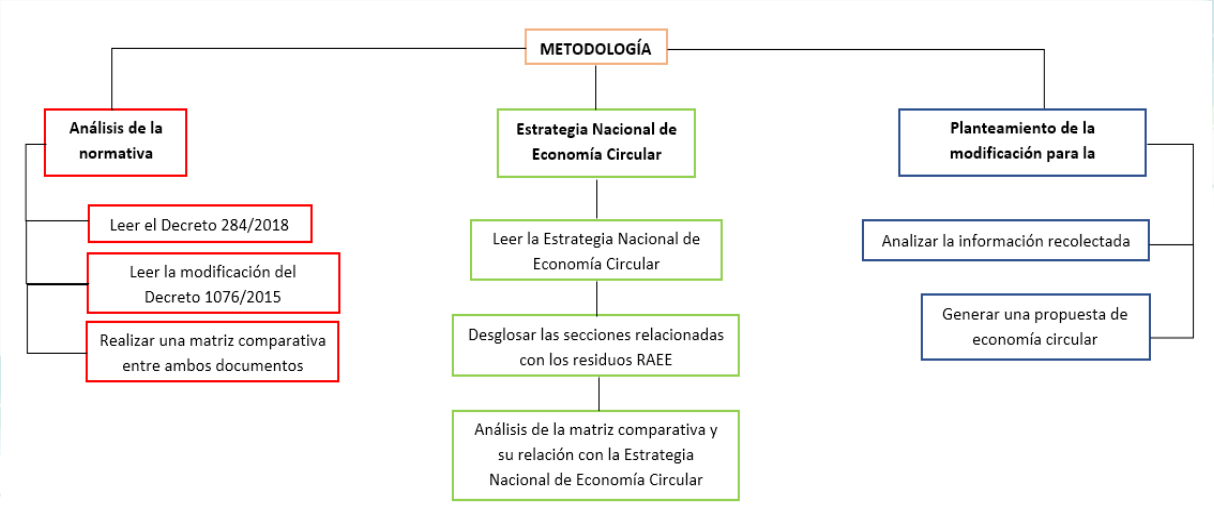


Figura 1. Diagrama de la metodología realizada por fases

Resultados y discusión

El formato matricial obtenido en el presente proyecto por el cual se parametrizo la norma fue el siguiente

Tabla 1. Matriz desarrollada

Capitulo	Articulo	Generalidad	Detalle	Relacion con la Estrategia de Economia Circular	Observación
DISPOSICIONES GENERALES					
Capitulo I					

En la parametrización de la norma que se realizó del decreto 284 de 2018 “Por el cual se adiciona al decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible, en lo relacionado con la gestión Integral de los RAEE”, se logró identificar que la norma en cuanto a gestión y lineamientos específicos de RAEE es simple, ya que reglamenta la gestión integral de RAEE pero no establece directrices claras en cuanto los requerimientos de los sistemas de gestión integral. Por otra parte, en el capítulo II, donde se exponen los alcances de las obligaciones de los actores involucrados en el sistema de recolección y gestión de RAEE, se menciona un eje fundamental de lo que es la economía circular, en el numeral 2.2.7A.2.1.

En el artículo 2.2.7A.2.3. se establecen las obligaciones de los usuarios y consumidores, entre la cuales se puede encontrar: Prevenir la generación de los RAEE mediante prácticas para la extensión de la vida útil de los AEE, realizar una correcta separación en la fuente de los RAEE y no disponer estos junto con los demás residuos, entregar los RAEE en los sitios o a través de los mecanismos que para tal fin disponen los productores o terceros que actúen en su nombre o a través de los comercializadores, entre otras. Es aquí donde se encuentra el mayor reto en cuanto a gestión, ya que los usuarios y/o consumidores no tiene la completa información de lo que significa disponer correctamente un RAEE, hasta hace algunos años se comenzó a realizar campañas dirigidas a los consumidores para la entrega de elementos post consumo.

Estas iniciativas conforman lo que es hoy en día es el grupo RETORNA, el cual busca establecer una alianza de las corporaciones que pertenecen al proyecto especial Posconsumo de la ANDI (Cierra el Ciclo, EcoCómputo, Pilas con el Ambiente, Red Verde, Eco Energy y Rueda Verde). Para efectos del proyecto el programa de la Universidad de La Salle busca lograr con mesas de trabajo una alianza con el grupo retorna, durante estas mesas de trabajo se obtuvo un panorama general de la gestión que realiza EcoComputo a nivel nacional.

Todas estas iniciativas se enmarcan en la normativa que ha surgido durante los últimos años, la cual ha logrado fortalecer el sistema de gestión, pero pese a las iniciativas que se han desarrollado aún existe bastante desconocimientos por parte de las minorías porque no es clara la forma en que se deben disponer, el enfoque de estas campañas es muy acertado, pero debería ser de manera más contundente y educativas para que todas las personas conozcan dichas campañas.

La modificación del Decreto 284 en el artículo VIII establece las jornadas y campañas de recolección, las cuales juegan un papel importante en la gestión sostenible de los residuos RAEE. Mediante éstas se puede involucrar de manera activa a la comunidad e informarla acerca de las diferentes alternativas que se tengan para la recolección de dichos dispositivos cuando la vida útil haya alcanzado su máximo uso. Si bien sólo se menciona los requisitos que los productores deben presentar ante las autoridades ambientales, se deja en claro que deben realizarse estas actividades y así poder cumplir con un buen manejo.

Por otra parte, en el Artículo XI, se especifica que, “los productores de consumo masivo (...) cuyo volumen en unidades de importación y fabricación nacional anual supere los estándares, deben implementar un sistema de recolección y gestión de RAEE” poniendo en evidencia el sentido de responsabilidad ambiental frente a las empresas que son catalogadas como grandes generadoras de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Se incluye dentro de esta categoría los artículos XII, XIII y XXI para los RAEE de uso industrial y profesional y las personas jurídicas o naturales respectivamente.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se observa que, a pesar de que el documento orienta de manera eficiente todos los procesos que se deben llevar a cabo para realizar el proceso de gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, no se especifica la forma ni los requerimientos para que los residuos pueden ser aprovechados. Se debe establecer e incentivar el crecimiento de empresas capaces de poder incorporar un gran porcentaje de dichos residuos dentro de su sistema productivo; se debe iniciar desde el establecimiento de una entidad encargada de la respectiva distribución de RAEE entre los interesados, para que se logre articular una economía circular, que no solo se basa en conceptos económicos, sino que considera cada movimiento de los objetos de esta índole, desde el momento en que son fabricados hasta cuando son nuevamente reincorporados.

Formulación de modificación de la norma

En el artículo 6 del Decreto 284 se debe realizar un ajuste en lo que respecta a "garantizar la participación de todos los productores en la toma de decisiones y a estar informados sobre el cumplimiento de las obligaciones que se deriven" puesto que no es clara la forma en que se garantiza este hecho, se debería desglosar cómo será el mecanismo para que se logre la participación de la que se habla en el artículo. Por otra parte, en el artículo 8, en la parte del registro de información se menciona que en el punto de generación debe contar con ciertos soportes documentales los cuales deben estar disponibles para cuando sean

requeridos por la autoridad competente, pero no se tienen estipulados los aspectos que deben llevar los documentos por ello es necesario realizar las especificaciones pertinentes para un correcto registro de información.

En general la modificación del decreto 284 de 2018 debe apuntar y realizar un énfasis más amplio en cuanto a la aplicación del principio de responsabilidad extendida del producto, uno de los principios que rige la estrategia de economía circular, la cual motiva y obliga a que los productores, bien sean fabricantes o importadores, mantengan un grado de responsabilidad por todos los impactos ambientales de sus productos a lo largo de su ciclo de vida.

Esto se puede lograr mediante el planteamiento de incentivos para las empresas que realicen la actividad de aprovechamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y que a la misma vez generen empleo. Otro punto para desarrollar podría ser la creación de una red entre los gestores de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y empresas de manufactura que puedan aprovechar estos materiales recuperados de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Conclusiones

La normativa nacional relacionada con la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se ha desarrollado en torno a un sistema de producción lineal, el cual se caracteriza por la generación creciente de aparatos eléctricos y electrónicos diseñados con una vida útil que no exceda los cinco años de uso. Esto solo crea problemáticas cada vez mayores en cuanto a la disposición de los residuos RAEE, considerando que las causas principales de ello radican desde la inadecuada separación en la fuente, hasta la falta de innovación en tecnologías que permitan realizar el aprovechamiento de los materiales de interés que se encuentran presentes en la composición de este tipo de elementos.

Con la comparación y respectivo análisis del Decreto 284 de 2018, su modificación, y la Estrategia Nacional de Economía Circular, las limitaciones que se identifican en la implementación de un nuevo modelo de producción circular se enfocan en la formulación de un sistema de recolección y gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que tenga en cuenta lo expresado en la Estrategia Nacional de Economía Circular: “las normas que rigen el sistema, las áreas operativas de la recolección y el procesamiento de los RAEE, la financiación del sistema y la forma de controlar el flujo de los RAEE dentro y fuera de la jurisdicción del sistema”, lo que quiere decir que debe existir una participación colaborativa entre todos los agentes involucrados dentro de la gestión integral de los residuos de este tipo, haciendo énfasis en las grandes y pequeñas empresas que han implementado un sistema circular y que, por consiguiente, están aportando un desarrollo que vincula al territorio en una economía global.

En cuanto a los retos que se evidencian para la inclusión de la economía circular en el país, estos se focalizan en los siguientes en el uso de tecnologías eficientes que permitan el

aprovechamiento de materiales identificados en los RAEE tales como metales de hierro, vidrios y plásticos, los cuales sirven como base para la conformación de nuevos elementos en el mercado. Se identifica además la educación ante la correcta disposición y separación en la fuente; estas capacitaciones deben ir por parte de la empresa prestadora del servicio público de aseo hacia todos los suscriptores, generando incentivos para que las personas generen un interés en la aplicación de una economía circular. Por último, desde la académica con este proyecto se apuntó a contribuir al desarrollo de los objetivos de desarrollo sostenible, el proyecto se desarrolló en el marco del objetivo número doce (producción y consumo responsables)

Referencias bibliográficas

Gobierno de la República de Colombia. (2019). Estratégia nacional de economía circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. Bogotá D.C., Colombia. Presidencia de la República; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2017). Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bogotá D.C., Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social, Ministerio de Minas y Energía, y Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (15 de febrero de 2018). Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos . [Decreto 284 de 2018].

Ecocomputo. (2020) Página Oficial. Recuperado de: https://ecocomputo.com/

Grupo Retorna. (2020). Página Oficial. Recuperado de: https://ecocomputo.com/grupo-retorna

FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS JURÍDICO-TÉCNICAS BASADAS EN LEGISLACIÓN VIGENTE DE ESPAÑA Y LA UNIÓN EUROPEA, PARA LA FORMULACIÓN DE POLÍTICA SOBRE ECONOMÍA CIRCULAR EN COLOMBIA

Valentina Hernández Romero[1*], Beatriz Elena Ortiz Gutierrez[2]

[1]Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle. Carrera 136 A #144-58 – Suba, Bogotá, Cundinamarca. 111151. Colombia. Email: vhernandez35@unisalle.edu.co

[2]Docente programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle.

Abstract

There is an economic model in Colombia based on development from the depletion of natural resources, this has generated an emergence of new economic models based on the reuse and use of waste. Among these, the circular economy, which re-enters the waste into the productive system as a raw material, generating a cycle in which everything can be used. Colombia is still in the transition to this economic model, so this article addresses the shortcomings that Colombia has had regarding the implementation of regulations that regulate the Circular Economy based on laws issued in other countries, through research and comparison of these establishing techniques that facilitate the formulation of policy at national level.

Keywords: Lineal economy, circular economy, urban metabolism, sustainability, legislation.

Formulación de estrategias jurídico-técnicas basadas en legislación vigente de españa y la unión europea, para la formulación de política sobre economía circular en Colombia

Resumen

En Colombia existe un modelo económico basado en el desarrollo a partir del agotamiento de recursos naturales, esto ha generado un surgimiento de nuevos modelos económicos basados en la reutilización y aprovechamiento de residuos. Entre estos, la economía circular, que reingresa el residuo al sistema productivo como materia prima, generando un ciclo en el que todo puede ser aprovechable. Colombia aún está en la transición hacia este modelo económico por lo que este artículo aborda las falencias que ha tenido la legislación Colombia con respecto a la implementación de una normativa que regule la Economía Circular teniendo como base leyes expedidas en otros países, mediante la investigación y comparación de estas estableciendo técnicas que faciliten la formulación de política a nivel nacional.

Palabras clave: Economía lineal, economía circular, metabolismo urbano, sostenibilidad, legislación.

Introducción

En Colombia, se maneja actualmente un modelo de economía lineal que, por una parte, pone en desventaja al país frente a otros, cuyos desechos de un proceso son materia prima en otro proceso, y no es acorde con el compromiso ambiental que tiene el país frente al cambio climático.

Las industrias (productoras, manufactureras, etc.) no tienen en cuenta la huella de carbono que dejan con cada artículo fabricado y comercializado, esto referente a la cantidad de materia prima que requieren para producirlos y la disposición de los residuos de dicho proceso. Si bien las empresas en Colombia están obligadas a tratar los vertimientos antes de enviarlos a un cuerpo de agua o a reducir la carga contaminante de una emisión antes de ser enviada a la atmosfera, están en el derecho de disponer de manera correcta sus residuos aun cuando estos puedan tener una vida útil en otro proceso productivo.

En cuanto a la sociedad, no se ha hecho la transición hacia esa consciencia ambientalmente responsable que se debe tener en cuenta al momento de consumir cualquier producto o servicio, esto referente a la huella de carbono que cuesta producirlo o a la cantidad y material del residuo que se va a generar luego del uso o cuando se agote su vida útil.

Como consumidores se tiene la responsabilidad de evaluar alternativas frente al excesivo consumo de productos no biodegradables o que generen un alto impacto al ser dispuestos en un ecosistema.

Existe en Colombia una iniciativa que se ha dado mediante la creación de una estrategia incluida en el plan de desarrollo, pero aún no existe normativa vigente que incentive a las compañías a implementar este modelo de economía.

El presente proyecto tiene como objetivo general formular estrategias jurídico-técnicas basadas en legislación vigente de España y la Unión Europea, para la formulación de política sobre economía circular en Colombia teniendo como metodología de investigación el planteamiento de tres objetivos específicos que son: examinar la normativa vigente en España y la Unión Europea con respecto a economía circular, identificar los procesos y formas de implementación de la normatividad consultada y contrastar las falencias que ha tenido Colombia en la implementación de la norma con respecto a otros países con el fin de establecer técnicas para la formulación de política en Colombia.

Material y metodología

Este proyecto es investigativo únicamente por lo que la metodología a usar es consultar varias fuentes de información en las que se contrasten posiciones y procesos. Esto para un

análisis detallado y un planteamiento idóneo de las estrategias para que puedan ser fácil y exitosamente aplicadas en Colombia.

Para examinar la normativa vigente en España y la Unión Europea con respecto a economía circular se usarán bases de datos para la recopilación de información que permita contextualizar y evidenciar la forma de implementación de las políticas en otros países. Posterior a esto, se compilará la información con el fin de exponer las falencias que ha tenido Colombia en la regulación y definición de la economía circular. Finalmente, en base a la investigación realizada, se establecerán técnicas para la formulación de política en Colombia a partir de resultados cualitativos generando una serie de recomendaciones para la transición del modelo económico lineal al circular en el contexto nacional.

Resultados parciales y discusión

En el año 1965 Wolman escribió acerca de la "Conceptualización Ecológica de las ciudades", haciendo la comparación de las ciudades vistas como seres vivos que, al igual que un organismo vivo, crecen, se desarrollan y en algún momento pueden perecer. Y para ser vista de esta forma, junto con la ciudad deben ser tenidos en cuenta todos sus flujos energía y materiales. El metabolismo urbano tiene en cuenta todas las entradas y salidas que requiere una urbe para su desarrollo y como estas son aprovechadas y/o destinadas de forma que al finalizar un proceso puedan ser materia prima de otro, sin acabar el ciclo. Al dimensionar estos flujos en una ciudad actual, se aprecia la magnitud de estos para mantener a ciudades en constante expansión, para esto Wolman analizó una ciudad hipotética de 1 millón de habitantes y logró identificar tres flujos claves de entrada (agua, alimentos y combustibles) y tres de salida (aguas residuales, residuos sólidos y contaminantes atmosféricos).

Programa de Eficiencia en el Empleo de los Recursos, Marco de la Estrategia Europa 2020

La Unión Europea el 2 de diciembre de 2015, adoptó, en Bruselas, un ambicioso paquete de propuestas para convertir la economía europea en una más circular. La finalidad consiste en obtener el máximo valor y uso de todas las materias primas, productos y residuos, fomentando el ahorro energético y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. (Porcelli, A. Martínez, A. 2018)

Castilla, La Mancha – Ley de Economía Circular

Trata de llevar al ordenamiento jurídico los principios de la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo "Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular".

La nueva ley pretende así incluir los principios de la economía circular en el sistema productivo de la región, y dar soluciones a problemas como la gestión de los recursos naturales (agua, suelo, servicios ecosistémicos, diversidad biológica o energía), el proceso de producción, el consumo —aquí entraría en juego la economía colaborativa— y la gestión de residuos. Este último punto es uno de los más importantes porque en el mismo se introduce el mercado de materias primas, plásticos, residuos de alimentos, residuos de construcción y demolición, biomasa y biomateriales. En la nueva normativa se establecen multas, fianzas o "fiscalidad ambiental", que se aplicarán a empresas y particulares contaminantes y que ya se contemplan en el Plan Regional de Gestión de Residuos. (Porcelli, A. Martínez, A. 2018)

País Vasco

Euskadi cuenta con una importante gama de instrumentos que facilitan la transición hacia la economía circular, como la compra y contratación pública verde, la tracción ambiental sobre cadena de suministro a través del Basque Ecodesign Center, el desarrollo de estándares técnicos y ambientales, las autorizaciones y licencias ambientales y las inspecciones administrativas. Esta batería de instrumentos apoya a las empresas que se deciden por negocios circulares e incluyen ayudas a proyectos de eco innovación, proyectos demostración, subvenciones y también deducciones fiscales del impuesto de sociedades por inversión en tecnologías limpias. (Porcelli, A. Martínez, A. 2018)

Alemania - Ley de Economía Circular y Residuos

Con dicha ley se creó un sistema de reciclaje que exige mayor responsabilidad, no solo de los consumidores, sino también de los productores. El Duales System Deutschland, o el Sistema DualAlemán, empieza en el hogar, por eso, los consumidores deben seleccionar los residuos, empacarlos y depositarlos en el lugar que les corresponde. En los supermercados, los productos empacados en embalajes de plástico, aluminio o metal (cajas de leche o latas de conservas) llevan impreso un sello verde, lo que indica que tanto la industria como el ciudadano pagan un valor extra para que ese empaque sea transportado, tratado y finalmente pueda reutilizarse. Los residuos plásticos van en un contenedor amarillo, los de papel, en un contenedor azul, los de vidrio: verde, el marrón corresponde a los residuos orgánicos y negro el Restmüll (los colores y número de contenedores varía en algunas ciudades) y el carro recolector los recoge cada dos semanas. Gracias a la separación de los residuos, los alemanes han logrado que en el país se recicle actualmente el 60% de la basura doméstica. Según estadísticas oficiales, suma 452 kg por habitante y por año, aproximadamente 1,6 kg por día. De esa forma, el volumen de desechos que todavía llega a los vertederos o a las plantas de incineración es mucho menor. (Porcelli, A. Martínez, A. 2018)

China – Ley de economía circular

Con la aprobación de esta ley se refuerzan y amplían los principios básicos de "reducir, reutilizar y reciclar" se centra exclusivamente en estos principios, dotándoles por primera vez de una definición detallada y desarrollándolos uno a uno. La ley se divide en siete capítulos, los dos primeros se centran en los Principios Generales y en las Reglas de Administración Básicas, desarrollando en los Capítulos III y IV los principios básicos, y dejando para los Capítulos V y VI las medidas incentivas y las responsabilidades legales. (Porcelli, A. Martínez, A. 2018)

Lo anterior son resultados parciales de la investigación por lo que se complementarán y concluirán para su presentación en el congreso.

Conclusiones

Parcialmente, podemos concluir que los países han implementado leyes debido a crisis ambientales que han existido en los mismos por lo que podría esperarse que, para Colombia, el impulso hacia este modelo económico circular sea con la ocurrencia y reconocimiento de una crisis en el modelo económico actual.

Referencias bibliográficas

Brunner, P.H. & Rechberger, H. (2004). Practical Handbook of material flow analysis. NY, USA: Lewis Publishers. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/1492/149240051014.pdf

Ellen MacArthur Foundation. (2017). Economía Circular. Tomado de: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/escuelas-de-pensamiento.

G. Delgado, C. Campos, P. Rentería. Cambio climático y el metabolismo de las Mega urbes Latinoamericanas. Hábitat Sustentable Vol. 2, N°. 1, 2-25. Tomado de: http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/409/372

ISO 9001. (2020). Sistemas de Gestión de Calidad según ISO 9000. Recuperado de: https://iso9001calidad.com/elementos-de-un-proceso-30.html

L. Saumeth de las Salas, A. Stward. (2016). Metabolismo urbano del agua potable, aproximación al caso de Cartagena de Indias. Universidad del Norte. Tomado de: http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8155/128537.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marina Sánchez P, Martín Prager M, Rubén E Naranjo, Oscar E Sanclemente. EL SUELO, SU METABOLISMO, RECICLAJE DE NUTRIENTES Y PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS. Grupo de Investigación en Agroecología, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Tomado de: https://revistas.um.es/agroecologia/article/download/170971/146191/ 6.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2018). Colombia le apuesta a las 9R en economía circular. Tomado de: http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4225-colombia-le-apuesta-a-las-9r -en-economía-circular

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Gases Efecto Invernadero. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=462:plantilla-cambio-climatico-18

Nunes, P. (2018). Economía Lineal. Recuperado de: https://knoow.net/es/cieeconcom/economia-es/economia-lineal.

Porcelli, A. Martínez, A. (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. REVISTA DIREITO GV. Sao Paulo. Tomado de: http://www.scielo.br/pdf/rdgv/v14n3/2317-6172-rdgv-14-03-1067.pdf

RAE. (2020). Definición de residuo. Tomado de: https://dle.rae.es/residuo

Revista Dinero. (2019). Estrategia de los empresarios para consolidar la economía circular en el país. Tomado de: https://www.dinero.com/empresas/articulo/estrategia-de-los-empresarios-en-colombia-para-consolidar-la-economía-circular/275640

PROPUESTA DE INDICADORES PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN COLOMBIA.

B.E. Ortiz[1], M.A. Barrera[1*]

[1]Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle

**Autor corresponsal:* Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle, Carrera 2, No 10 - 70 – La Candelaria, Bogotá D.C. 111711. Colombia. Email: mbarrera56@unisalle.edu.co

Abstract

The circular economy (CE) has a differentiating contribution because it drives the transformation of productive systems, from linear schemes to circularity models. It involves a process of transformation through different types of innovation which manifests itself at the different levels of the productive system involved, such as at the micro and macro levels. The implementation of this EC model seeks to reduce the pressure on natural capital, maintaining products, materials and resources as long as possible in the economic cycle, eliminating the associated negative externalities, identifies opportunities for the business sector by promoting productivity schemes with innovation and efficiency in the production of goods and services, contributing with this model to the development of Goal 12 of sustainable development called "responsible production and consumption". The EC becomes defined action plans backed by specific indicators, requiring tools such as indicators, already allowing to know the intensity of implementation and thus to determine its progress, evidence of the transformation of production and consumption systems in the management and efficient management of materials contributing to significant changes with its implementation in industries and institutions that welcome it as in the lifestyle of citizens. Focusing this project in Colombia, is an excellent option to demonstrate the evolution of the EC application, EC indicators will be formulated for this country considering true information from official sources both national and international that allows this purpose.

KeyWords: Circular economy, Colombia, formulation, indicators.

PROPUESTA DE INDICADORES PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN COLOMBIA.

Resumen

La economía circular (CE) tiene un aporte diferenciador pues impulsa la transformación de los sistemas productivos, de esquemas lineales hacia modelos de circularidad. Implicando un proceso de transformación a través de diferentes tipos de innovación lo cual semanifiesta a los diferentes niveles del sistema productivo involucrado como por ejemplo a nivel micro y macro. Con la implementación de este modelo CE se busca disminuir la presión sobre el capital natural, manteniendo productos, materiales y recursos el mayor tiempo posible en el ciclo económico, eliminando las externalidades negativas asociadas, identifica oportunidades para el sector empresarial promoviendo esquemas de productividad con innovación y eficiencia en la producción de bienes y servicios, contribuyendo con este modelo al desarrollo del objetivo número 12 de desarrollo sostenibledenominado “producción y consumo responsables”. La CE se convierte en planes de acciónde definidos y respaldados por indicadores específicos, requiriendo de herramientas como lo son los indicadores, ya permiten conocer la intensidad de la aplicación y con esto determinar su progreso, evidenciando la transformación de sistemas de producción y consumo en la gestión y manejo eficiente de los materiales aportando en cambios significativos con su implementación en las industrias e instituciones que la acojan como enel estilo de vida de los ciudadanos. Enfocando este proyecto en Colombia, es una excelenteopción para evidenciar la evolución de la aplicación de CE, se formularán indicadores de CE para este país considerando información verídica de fuentes oficiales tanto nacionales como internacionales que permita dicha finalidad.

Palabras clave: Colombia, economía circular, formulación, Indicadores.

Introducción

Actualmente se reconoce que el modelo predominante por muchos años que se había manejado en la economía correspondía al lineal, el cual se basa en el empleo de recursos naturales transformados en cadenas de producción y consumo afectando la capacidad de carga de los ecosistemas evitando el desarrollo eficiente entre la necesidad de crecimiento que presenta la sociedad y la oferta de recursos; ahora es el momento de aprovechar el modelo de economía circular, aprovechando las múltiples ventajas ambientales como: Reducción de residuos, emisiones, extracción de materias primas. Esto sumado a los potenciales beneficios a nivel económico ya que permite capturar valor adicional de bienes y servicios, mitigar los riesgos derivados de la volatilidad de los precios de los materiales y de la oferta de materiales, aprovechar los recursos en repetidas ocasiones trayendo consigo la reducción de costos de materia, innovación en modelos de negocio, apertura de nuevos mercados y mejoramiento de la productividad.

Colombia no es ajena a esta realidad y dentro de su literatura nacional se han incluido avances asociados al desarrollo sostenible contribuyendo con el medio ambiente, como ejemplo lo fue la presentación desarrollada en el año 2018 de la "Estrategia Nacional de Economía Circular" aportando con nuevos elementos para fortalecer el modelo de desarrollo económico, ambiental y social del país. Es necesario implementar herramientas como lo son los indicadores, los cuales permiten conocer la intensidad de la aplicación y con esto determinar su evolución futura, evidenciando la transformación de sistemas de producción y consumo en la gestión y manejo eficiente de los materiales aportando en cambios significativos con su implementación en las industrias e instituciones que la acojan como en el estilo de vida de los ciudadanos.

En este sentido siendo nuestro país Colombia, es una excelente opción para evidenciar la evolución de su implementación como reciente modelo económico, mediante este proyecto de investigación se formularán indicadores de economía circular para Colombia los cuales permitan el control y monitoreo de la implementación de la EC, la cual está asociada con el objetivo número 12 de desarrollo sostenible denominado producción y consumo responsable, para esto se considerará información verídica de fuentes oficiales tanto nacionales como internacionales que permita el desarrollo de dicho propósito.

Material y metodología

Fase 1 (Indicadores de EC nivel nacional e internacional)

Con la revisión bibliográfica de información relacionada con indicadores de economía circular empleando recursos dentro los que se encuentran artículos científicos, páginas oficiales estatales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Eurostat, etc...) y fundaciones como Ellen MacArthur la cual es pionera en el modelo de economía circular, se implementa una matriz que recolecte información respecto a cada uno de los indicadores encontrados.

Fase 2 (Indicadores de economía circular a nivel Local - Distrito capital)
En el desarrollo de esta fase es necesario consultar información principalmente en páginas oficiales del distrito capital como la secretaria distrital de Ambiente (SDA), Observatorio de Desarrollo Económico y el observatorio ambiental de Bogotá entre otras que permitan identificar indicadores que han sido implementados en el distrito capital y crear una matriz con información hallada respecto a estos.

Fase 3 (Confrontación y formulación de indicadores)

Al tener una matriz de indicadores implementados a diferentes escalas (internacional, nacional y local) se realiza la contrastación de la información recolectada implementando una matriz de comparación que permita confrontar y analizar los indicadores hallados para posteriormente formular indicadores para controlar y monitorear la EC en el país de Colombia, empleando como marco de referencia los lineamientos de la guía para la construcción y análisis de indicadores del Departamento Nacional de Planeación (DNP)

estableciendo para estos: Objetivo, definición de la tipología, redacción de indicador, selección de indicadores, elaboración de hoja de vida de los mismos

Resultados y discusión

Con la culminación del presente proyecto se espera evidenciar los diferentes indicadores a nivel nacional que se han adoptado e identificar cuáles son los marcos de referencia a nivel internacional que se han tenido como guía. Se observara cual es la predominancia de ciertos indicadores a nivel internacional para establecer con esto cuales son los más empleados a nivel mundial. Al identificar indicadores de economía circular empleados en el distrito se conocerá cuál ha sido progreso de la implementación de este modelo en la capital colombiana como el interés que ha tenido el gobierno en manera de crear herramientas que permitan evidenciar su evaluación luego del lanzamiento de la Estrategia nacional de economía circular.

Puesto que la nueva propuesta de modelo económico actualmente manejada a nivel global implica trasladarnos de una economía lineal a una circular, reconociendo que esta últimaes una economía eficiente, productiva y sobretodo sostenible, se formularan indicadores para controlar y monitorear la EC, con los cuales se permitirá conocer la intensidad de la aplicación y con esto determinar su evolución futura, evidenciando la transformación de sistemas de producción y consumo en la gestión y manejo eficiente de los materiales aportando en cambios significativos con su implementación en las industrias e instituciones que la acojan como en el estilo de vida de los ciudadanos.

Conclusiones

Se establecerá los indicadores actualmente empleados a nivel internacional en la economía circular destacando algunos específicamente por su uso en común.

Se conocerán cuáles serán los marcos de referencia empleados por Colombia para formular sus indicadores del modelo circular.

Se identificaran cuáles son las instituciones administrativas que han implementado en el distrito capital indicadores como la tipología de estos.

Luego de la confrontación de indicadores hallados a nivel nacional, internacional y local e indicadores propuestos se dará una estimación cuantitativa de los indicadores formulados en el presente proyecto mencionando los más destacables en relación con la tipología de estos

Referencias bibliográficas

Comisión Europea. (2019) Informe de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. Acceso 03 de febrero de 2020, disponible en https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0190&from=EN

Concejo Colombiano de construcción sostenible. (2019). Actualización de la Estrategia Nacional de Economía Circular del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Acceso 03 de febrero de 2020, disponible en https://www.cccs.org.co/wp/2019/05/24/actualizacion-de-la-estrategia-nacional-de-economia-circular-del-ministerio-de- ambiente-y-desarrollo-sostenible/

Eurostat. (2017) Which indicators are used to monitor the progress towards a circular economy? Acceso 03 de febrero de 2020, disponible en https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators

Fundación Ellen MacArthur y Granta Design. (2015) Circularity indicators. An Approach to Measuring Circularity. Acceso 03 de febrero de 2020, disponible en https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Project-Overview_May2015.pdf

Madrid 7R. (2017). La economía circular. Beneficios. Acceso 05 de febrero de 2020, disponible en http://www.madrid7r.es/la-economia-circular/beneficios

Tecnalia. (2018). Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia. Acceso 05 de febrero de 2020, disponible en https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Circular/MATEC%20Producto%203.pdf

EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR Y PRIMARIO DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN UNA INDUSTRIA DE BOTANAS EN LA GRITA (TÁCHIRA-VENEZUELA)

Carlos Javier Mora Mora[1], Marcos José Cárdenas Gonzalez[1,2,*]

[1]Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Experimental del Táchira.
[2]Laboratorio de Investigación Ambiental y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Experimental del Táchira.

*Autor corresponsal: Laboratorio de Investigación Ambiental y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Experimental del Táchira, Av. Universidad, Campus Paramillo, San Cristóbal, estato Táchira. 5001. Venezuela. Mjcardenas14@gmail.com

Abstract

The evaluation of a wastewater treatment plant (WWTP) allows to determine removal efficiencies, detect faults and are the basis for configuring improvements. In this investigation, the preliminary and primary treatment of a WWTP was evaluated in an industry that elaborates snack foods in La Grita (Venezuela). For this, quality parameters to the residual water were determined at various points; direct observation of facilities, operation and maintenance was performed; and comparisons of technical aspects were made between what exists and what is stipulated in the design project and specialized literature. In this part of the WWTP there are: debashing, pumping, sieving, homogenization, coagulation, flocculation and floatation by dissolved air. Removals of 62% for $BOD_{5.20}$, 61% COD, 45% for N, 28% P and 81% TSS are reached. The design flow was 12.10 L/s and in reality only 2 L/s enter on average. The residual water is acidifying as it is purified. Elements are missing in some treatment units, repair or replacement of parts is required, equipment is inoperative or non-existent, and events are weak in operation and maintenance. Despite the detected failures, the treatment fulfills its purpose; improvements can be designed to optimize its operation.

KeyWords: evaluation, industrial waste water, preliminary and primary treatment, snack, treatment plant.

Resumen

La evaluación de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) permite determinar eficiencias de remoción, detectar fallar y son la base para diseñar mejoras. En esta investigación se evaluó el tratamiento preliminar y primario de una PTAR en una industria que elabora alimentos tipo botanas en La Grita (Venezuela). Para ello se determinaron parámetros de calidad al agua residual en diversos puntos; se realizó observación directa de las instalaciones, operación y mantenimiento; y se hicieron comparaciones de aspectos técnicos entre lo existente y lo estipulado en el proyecto de diseño y literatura especializada. En esta parte de la PTAR existen: debaste, bombeo, tamizado, homogeneización, coagulación, floculación y flotación por aire disuelto. Se alcanzan remociones de 62% para $DBO_{5,20}$, 61% de DQO, 45% para N, 28% de P y 81% de SST. El caudal de diseño fue de 12.10 L/s y en la realidad ingresan solo 2 L/s en promedio. El agua residual se va acidificando a medida que es depurada. Faltan elementos en algunas unidades de tratamiento, se requiere reparación o sustitución de piezas, hay equipos inoperativos o inexistentes y ocurren debilidades en la operación y mantenimiento. A pesar de las fallas detectadas, el tratamiento cumple su finalidad; se pueden diseñar mejoras para optimizar su funcionamiento.

Palabras clave: agua residual industrial, botanas, evaluación, planta de tratamiento, tratamiento preliminar y primario.

Introducción

Las aguas residuales generadas en industrias de alimentos poseen características que dependen de las actividades productivas, sin embargo se suelen destacar por la elevada carga orgánica biodegradable y sólidos en suspensión, así como escasos o nulos contaminantes tóxicos y peligrosos (Picazo, 1995).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se seleccionan, diseñan y construyen con la finalidad de prevenir la polución en el agua y el suelo, proteger la salud y promover el bienestar de las personas (Romero, 2004). En La Grita (Mcpio. Jáuregui, estado Táchira-Venezuela), se encuentra una fábrica de alimentos tipo snacks, frituras o botanas que es propiedad de una empresa multinacional, la cual cuenta con una PTAR para el flujo industrial. La presente investigación buscó evaluar la mencionada PTAR, lo cual permitió emitir juicios de valor objetivos sobre el desempeño de la depuración, su operación y mantenimiento y detectar fallas o debilidades que puedan ser prevenidas o corregidas. De esta manera, a mediano plazo, se puede optimizar la planta, mejorar la calidad del efluente y usar eficientemente los recursos que requiere su funcionamiento. En este documento se presentan los resultados de la evaluación del tratamiento preliminar y primario de la PTAR, los cuales tienen una misión primordial para alcanzar un efluente con calidad tal que pueda ser depurado apropiadamente en reactores biológicos.

Materiales y metodología

La investigación se llevó a cabo en la fábrica de alimentos tipo snacks de PepsiCo Alimentos S.C.A., la cual se ubica en La Grita, Mcpio. Jáuregui, estado Táchira-Venezuela. Esta sede se dedica a elaborar palitos de maíz salados blandos y duros (dos productos diferentes), aros de maíz dulces, hojuelas de papa y plátano frito, galletas de trigo horneadas, hojuelas de maíz condimentadas y maní. Los efluentes líquidos generados en el proceso productivo y en las actividades de limpieza, son llevados a una PTAR que consta de operaciones físicas, procesos químicos y biológicos. Esta investigación se centró en evaluar las unidades de tratamiento preliminar y primario: reja de desbaste, fosa de bombeo del efluente inicial, tamiz rotatorio, tanque de igualación u homogeneización, cubas para la coagulación y floculación (mezcla rápida y lenta) y la flotación por aire disuelto (Figura 1).

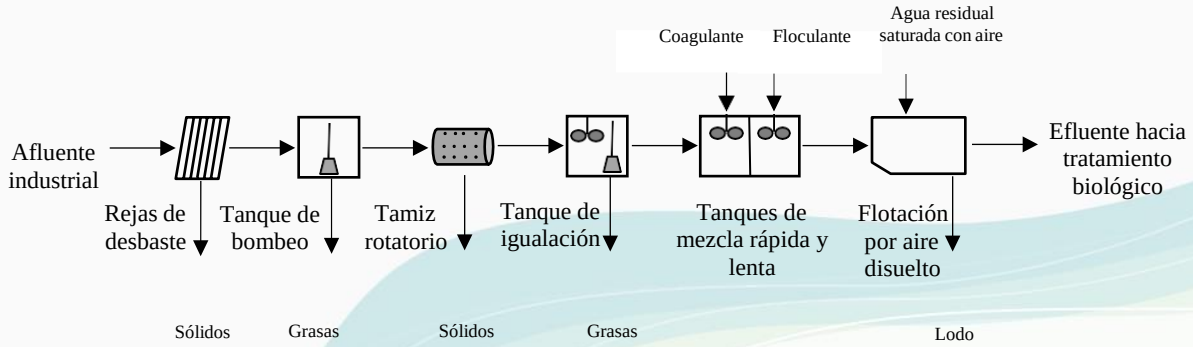


Figura 1. Flujograma de los tratamientos preliminares y primarios evaluados.

Para la evaluación se hizo uso de la observación directa de los tanques y equipos, de la operación y mantenimiento, registro de las fallas, comparación de aspectos técnicos del funcionamiento actual con los contenidos en el diseño original y literatura especializada. También se llevó a cabo toma de muestras del agua en diversos puntos de la PTAR y la respectiva determinación de parámetros de calidad en el laboratorio interno (Tabla 1). La frecuencia y puntos de muestreo fueron planificados dependiendo de la importancia del parámetro con respecto a la unidad de tratamiento y de la cantidad de recursos disponibles (kits, reactivos…). En los resultados se reportan las medias obtenidas durante cuatro semanas de mediciones entre abril y mayo de 2018.

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos determinados en la PTAR.

Parámetro	Método y procedimiento*	Tipo de muestra	Frecuencia de muestreo	Punto de muestreo
pH	Colorimétrico	Simple	Dos veces diarias	Afluente, TB, TI, DAF
Temp.	Termométrico			
O_2	Electrodo de membrana			
DQO	Colorimétrico de reflujo cerrado	Compuesta	Una diaria	Afluente, DAF
$DBO_{5,20}$	Respirométrico		Dos veces diarias	
N y P	Digestión y colorimetría		Una diaria	
SST	Colorimétrico	Simple	Dos veces diarias	

Nota: pH: potencial hidrógeno, Temp.: temperatura, O_2: oxígeno disuelto, DQO: demanda química de oxígeno, $DBO_{5,20}$: demanda bioquímica de oxígeno (5 d, 20 °C), N: nitrógeno, P: fósforo, SST: sólidos suspendidos totales, TB: tanque de bombeo inicial, TI: tanque de igualación, DAF: flotación por aire disuelto. Cada muestra y parámetro se determinaron por triplicado.

Resultados y discusión

Caudal y características del agua residual

En Planta La Grita (PLLG) los principales procesos industriales que generan residuos líquidos son por la transformación de papa (transferencia, lavado, pelado y rebanado), así como los asociados a cocción y lavado de maíz, lavado de las hojuelas de plátano, saneamiento y purga de calderas. La PTAR fue diseñada por DISA C.A. (2000) para tratar 12.1 L/s de efluente industrial proveniente de una línea de procesamiento de papas de 454 kg/h y dos líneas de maíz de capacidad combinada de 1250 kg/h. Actualmente, se encuentra operando con una capacidad menor a lo previsto, debido a la crisis económica venezolana que ha afectado a la empresa, y existen procesos de fabricación más diversificados, por cuanto se manufacturan productos de plátano, maíz, harina de trigo y maní. Durante el periodo de estudio se determinó que la generación de efluentes fue, en promedio, 2.0 L/s, este caudal representa un 11% del caudal de diseño; un caudal punta de 5.5 L/s registrado en un día de producción promedio; el vertido más bajo fue de 0.8 L/s en un cese operacional de fábrica. La diferencia entre el caudal de diseño y el real hacen que la PTAR esté funcionando muy por debajo de su capacidad.

En cuanto a las características del agua residual (Tabla 2), el efluente crudo posee gran cantidad de materia orgánica ($DBO_{5,20}$, DQO y SST), tal como lo reporta Durruty (2013) para este tipo de industrias, generalmente debido a la presencia de almidones y proteínas.

Tabla 2. Parámetros del agua residual en diversos puntos del tratamiento preliminar y primario.

Punto de muestreo	pH	Temp.	O_2	$DBO_{5,20}$	DQO	N	P	SST
Afluente	6.35 ± 0.91	26.26 ± 0.88	0.83 ± 0.29	2472 ± 549	5094 ± 987	29 ± 20	6.75 ± 2.88	1006 ± 518
TB	6.38 ± 0.56	26.05 ± 0.90	1.15 ± 0.24	-	-	-	-	897 ± 559
TI	5.86 ± 0.30	25.14 ± 0.69	1.26 ± 0.27	-	-	-	-	994 ± 542
DAF	5.78 ± 0.46	24.80 ± 1.64	1.86 ± 0.43	939 ± 294	1993 ± 970	16 ± 9	4.88 ± 1.21	192 ± 34

En el caso del pH, en la Tabla 2 se puede observar su disminución mientras el agua residual pasa a través de los distintos tratamientos, lo cual se puede asociar a descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente. La temperatura del agua también va reduciéndose, debido a la liberación de calor desde el agua hacia el aire. Caso contrario, ocurre con el oxígeno disuelto, donde la toma de muestra se hizo luego de que el efluente pasara por los equipos de bombeo, los cuales favorecen la difusión puntual de este gas a la fase líquida, pero se cree que no es extendido ni puede favorecer oxidación aeróbica por cuanto existe disminución de pH.

Sobre los parámetros asociados a materia orgánica y nutrientes (N y P), se puede afirmar que todos son removidos a medida que el agua residual discurre por las unidades de tratamiento, demostrando el cumplimiento de su función depuradora. En general, el tratamiento preliminar y primario logró eficiencias promedio de 62% para $DBO_{5,20}$, 61% de DQO, 45% para N, 28% en el caso del P y 81% de SST.

Rejilla de desbaste (RD)

El desbaste tiene por objeto retener la posible llegada de objetos o sólidos voluminosos que puedan provocar obstrucciones o dificultar en los restantes procesos (Romero, 2004). En este caso, el efluente se caracteriza por realizar el barrido de pedacería (granos de maíz, hojuelas, bolsones, sacos), los cuales pueden disminuir la eficiencia de los tratamientos siguientes o comprometer los equipos de bombeo. Existen dos RD en paralelo, cada una conformada por barras metálicas de 0.95 cm de diámetro, 2 cm de separación entre ellas y empotrada a su respectivo canal de concreto de 60 cm en el ancho y alto.

Las barras de la RD presentan ciertas deformaciones que ocasionan el paso de algunos sólidos. Durante la remoción manual de los sólidos retenidos (dos veces por semana), no puede desviarse el caudal hacia el canal de derivación debido a la carencia de compuertas que impidan el flujo hacia el canal de desbaste. Suárez et al. (2014ª) especifican que estos canales deberán disponer de compuertas que permitan su aislamiento en el mantenimiento o averías. La remoción de los sólidos se realiza manualmente con una pala que permite arrastrarlos y deja escurrir parte de la humedad existente. Suárez et al. (2014ª) recomiendan el uso de rastrillos para la limpieza de las rejillas, las cuales deben poseer una inclinación de 50 a 60° con la horizontal. Sin embargo, el uso de la pala resulta más efectivo debido a que la reja existente tiene 90°.

Tanque de bombeo para el efluente inicial (TB)

Es una estructura civil tipo cárcamo que se encuentra luego del canal de desbaste. El bombeo puede ser configurado para elevar el agua al tamiz rotativo, al tanque de igualación y otros puntos de la PTAR. Está conformado por dos tanques adosados subterráneos de concreto (Figura 2). Cada fosa: (a) tiene forma de cubo de 3 m en cada lado (volumen útil de 27 m^3); (b) cuenta con un sistema de dos bombas sumergibles (2 hp cada una) y control

de bollas; panel de control centralizado para manipulación en manual, off, automático; (c) sistema de polipasto que permite la elevación de los equipos de bombeo y compuerta manual en el punto de ingreso del agua.

Esta unidad posee las estructuras de soporte para un sistema de mezclado, el cual no se encuentra en operación. Presenta acumulación de sólidos flotantes (grasas) en su superficie (Figura 2) que, incluso, pueden dificultar la extracción de las bombas para su mantenimiento. El sistema de sensores de nivel requiere frecuente limpieza, dada la adherencia de la grasa que impide su activación. Han ocurrido atascamientos en la succión de las bombas por la acumulación de materiales como nylon o plásticos (Figura 2), trayendo consigo desbordamientos. Actualmente solo se encuentra trabajando el TB derecho con un único equipo para el trasvase de efluente. Las válvulas de retención o check de ambas fosas se encuentran inoperativas.

Figura 2. Vista superior externa del TB con una de sus compuertas abierta, acumulación de grasas dentro de una de las fosas y atascacimento en el interior de los equipos de bombeo.

Tamiz rotativo (TR)

A fin de obtener una óptima retención de sólidos, se previó que el efluente pasara por un tamiz de tambor rotario (Figura 3), el cual posee aberturas de 0.5 mm. El equipo se ubica sobre una estructura que se eleva unos 11 m (Figura 3). Los sólidos removidos pasan a una tolva cónica lozalizada bajo el tamiz; ésta los conduce hasta un contenedor que se encuentra en el suelo. Actualmente el TR se encuentra en buen estado pero inoperativo. El motivo es la baja capacidad para el trasvase del efluente desde el tanque de bombeo, el cual no logra elevar el agua hasta el tamiz. Se detectaron fugas en las válvulas de retención, haciendo que el agua retorne por la tubería hacia el TB. En caso de iniciar la operación del TR, se deben hacer algunas correcciones: (a) colocar una tubería que conecte la tolva y el contenedor, así los sólidos descienden al punto deseado y no se generan condiciones inseguras para el personal; (b) implementar limpieza del enmallado aprovechando el punto existente que conecta con la red de vapor de la fábrica, así se puede lograr el desprendimiento de cualquier material; (c) instalar un punto de mezcla de vapor.

Figura 3. Estructura de sostenimiento, vista del TR y parte superior de la tolva donde caen los sólidos removidos.

Tanque de igualación (TI)

Esta unidad permite la homogeneización de corrientes y variaciones de caudal, así como el almacenamiento de agua para el funcionamiento continuo de la PTAR. La estructura civil es subterránea y de concreto. La homogenización del efluente se concebió con el uso de un sistema mecánico de agitación de 4 hp (DISA C.A, 2000). El mezclador previsto en el diseño no existe dentro del TI. Actualmente recibe el agua residual enviada desde el TB y el escurrido proveniente del tratamiento de lodos (filtro prensa). El TI fue diseñado para operar con dos bombas manipuladas de forma remota. Cuenta con sistema de control de nivel por bollas y mecanismo de elevación de polipasto para las bombas sumergibles; su volumen útil es de 224516 m^3 (ancho y largo de 7.4 m, profundidad de 4.1 m).

En la actualidad se encuentra operativo solo un carril de elevación del sistema de bombeo; el otro soporte fue extraído por corrosión con su respectiva bomba. Esto trae como consecuencia la sobrecarga del TI, en especial al producirse fallas en el sistema de trasvase, ocasionando el desbordamiento del efluente y del material flotante. Es conveniente recalcar la presencia de una gran capa de grasa dentro del tanque; este material es removido manualmente en jornadas planificadas. También se percibe un recurrente mal olor en el área. Estos dos aspectos pueden ser ocasionados por la falta de un mecanismo de mezclado (agitador).

Lo anterior y la disminución del pH (Tabla 2), son evidencias de que en el TI están ocurriendo procesos de descomposición anaeróbica de la materia orgánica por la hidrólisis y acidogénesis (González, 2005). Disminuciones de este parámetro en estanques para el agua residual industrial donde no hay procesos de mezclado o aireación, han sido asociadas a oxidación anaeróbica por elevados tiempos de retención (España, 2008) y reducciones mínimas de pH se han detectado en homogeneizadores con tiempo de retención de 16 h (Gallegos, 2012).

Tanque de mezcla rápida y mezcla lenta (TMR/L)

Se implementaron para incorporar procesos de coagulación y floculación que mejoren la remoción de grasas y aceites, materia orgánica y sólidos en la posterior flotación por aire disuelto. La unidad de mezcla consiste en un tanque rectangular de acero inoxidable (Figura

4). El primer contacto del efluente con la adición química se realiza en la división destinada para mezcla rápida, con una velocidad de 250 RPM de un agitador de hélice marina; allí se dosifica el policloruro de aluminio (coagulante). Seguido de esto, mediante agitación lenta con 100 RPM, es dosificado un polímero floculante. Las velocidades de mezclado, en ambos casos, son 50 RPM superiores a lo recomendado por Pulido et al. (2017), representando exigencias innecesarias y desgaste de los equipos. También cuenta con un caudalímetro a la entrada y un sistema para la dosificación de químicos, constituido por dos tanques plásticos (450 gal cada uno) de preparación de los polímeros (con su propio mecanismo de agitación y fosa de contención en la parte inferior) y bombas neumáticas tipo diafragma para su adición (Figura 4).

Entre los aspectos negativos en el TMR/L resaltan: (a) la dificultad para el trasvase de químicos, lo cual, en varios casos, representó una dedicación de 120 minutos, tiempo en el cual no se realiza dosificación; (b) el flujo de químicos a dosificar por las bombas no es constante, teniendo paradas entre 10 a 30 min y la discontinuidad en este tratamiento; (c) la falta de registro de parámetros constituye una debilidad para el control; (d) la volatilidad en disponibilidad y costos de los químicos empleados también constituyen factores delicados para su operatividad. Al abordar los aspectos mecánicos, en el agitador para mezcla rápida existe un latigazo recurrente en el motor, trayendo consigo el desgaste en los rodamientos y reducción de la vida útil del equipo. Adicionalmente, se observó la pérdida de químico por descarte de soluciones viejas, puesto que la efectividad disminuye pasadas 12 horas desde su preparación. Esto también fue reportado por Fuentes et al. (2012), quienes, además, a propósito de las mencionadas debilidades en la dosificación y trasvase, indican que el uso eficiente de químicos requiere una buena preparación, mezcla y control, siendo necesaria una mayor atención y mejores métodos de cuantificación y control.

Figura 4. Vista superior del TMR/L, interior vacío donde ocurre la mezcla rápida y la mezcla lenta, sistema de dosificación compuesto por tanques para preparar las soluciones y bombas neumáticas.

Flotación por aire disuelto (DAF)

Es conocido como DAF (siglas en inglés). Está interconectado con el TML/R por medio de una tubería de acero inoxidable. El agua residual con flóculos ingresa a una primera sección

del DAF con el fin de inyectar micro burbujas, ser saturada de aire, recirculada y ser agregada por medio de espreas al área de flotación. Los sólidos y flóculos que flotan son removidos por medio del uso de paletas mecánicas (Figura 5), formando un lodo que es vertido a una cámara de natas y, gracias a una bomba neumática, es enviado a un tanque de almacenamiento de fangos. El efluente pasa por debajo de la cámara de natas y rebosa por cuatro conductos (Figura 5) que lo llevan al tratamiento biológico. El compartimiento de flotación posee 6.5 m^2 de superficie y 15 m^3 de volumen útil.

Algunas fallas ocurridas en este sistema fueron: (a) las tuberías PVC han colapsado por la acumulación de grasas en su interior y ocasionado daños en la bomba; (b) solo se cuenta con dos paletas de remoción superficial, lo cual difiere de los estándares de fabricantes que incorporan hasta cinco de estos elementos (Hidrometálica, 2012); (c) se observó una capa de grasa en las paredes del tanque de flotación que permiten la proliferación de insectos; (d) en el sistema barre lodos se detectó un desgaste considerable en la corona dentada de los piñones, lo cual ocasiona el deslizamiento de la cadena de los rascadores;
(e) en el sistema de inyección para microburbujas se presentaron obstrucciones recurrentes, formadas por la acumulación de sólidos en las espreas. La formación de microburbujas se realiza a pericia del operador, manipulando la proporción de aire en el tanque; no existen manómetro ni rotámetro. A pesar de las debilidades del sistema, posee una eficiencia de remoción de SST de 81% (Tabla 2), lo cual supera el 70% previsto en el diseño (DISA C.A., 2000) y se puede vincular a la dosificación de coagulante y floculante, así como al bajo caudal actual (aumento de tiempo de retención y disminución de la carga hidráulica superficial). Gallegos (2012) encontró en la operación de un sistema DAF para efluentes industriales una remoción de casi 71% de SST, cuyo caudal también estaba por debajo de la capacidad proyectada. En el caso del oxígeno disuelto, en esta unidad se logra el mayor aumento de su concentración, casi un 48% mayor comparado con su afluente (Tabla 2). Esto es de esperarse, debido a la inyección y saturación de aire que se hace al agua. En cuanto a la disminución de pH detectada, es común que la aplicación de algunos coagulantes generen esta situación (Suárez et al.,2014[b]).

Figura 5. Vista exterior del DAF, acercamiento al área de flotación, cámara de natas y rebose del efluente.

Conclusiones

Se evaluó el tratamiento preliminar y primario de la PTAR, encontrándose que, en general, se logró una buena eficiencia de remoción de los parámetros chequeados. Asimismo, existe una acidificación del agua a medida que discurre por lo procesos depurativos, lo cual se asoció a altos tiempos de retención debido al bajo caudal de tratamiento que genera la oxidación anaeróbica parcial de la materia orgánica; esto también se evidenció por los malos olores. Todas las unidades de tratamiento, en mayor o menor medida, presentan debilidades en su diseño, operación y mantenimiento, las cuales pueden prevenirse o corregirse con mejoras para optimizar el funcionamiento.

Referencias

Diseños Ambientales C.A. (DISA C.A.) (2000). Memoria ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales Planta La Grita, Snacks Latinoamérica.

Durruty, I. (2013). Biodegradación anaeróbica de efluentes del procesado de papa. Tesis doctoral, Universidad Nacional de la Plata, Argentina. [Documento en línea]. Recuperado: 25 de junio de 2020, isponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26913/Documento_completo.pdf?sequence=1

España, C. (2008). Análisis de eficiencia y funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Lácteos Andinos de Nariño LDTA. Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Fuentes, M., Prieto, P., & Rincón, C. (2012) Dosificación óptima de polímeros no ionicos de tipo poliacrilamida como ayudantes de filtración y compatibilidad con los ayudantes de coagulación aplicados en la planta de tratamiento de agua potable Francisco Wiesner (Bogotá-Colombia). [Documento en línea]. Recuperado:

26 de junio de 2020, disponible en:

http://www.aaiq.org.ar/SCongresos/docs/06_029/papers/08c/08c_1721_766.pdf

Gallegos, O. (2012). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de una planta de procesos avícolas. Proyecto de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua. Recuperado: 26 de junio de 2020, disponible en: http://ribuni.uni.edu.ni/623/1/37985.pdf

González, P. (2005). Hidrólisis y acidificación psicrófila de moléculas complejas en sistemas anaerobios. Tesis doctoral, Universidade de Santiago de Compostela,

España). Recuperado: 21 de junio de 2020, disponible en: https://www.usc.es/biogroup/sites/default/files/PaolaPoirrier.pdf

Hidrometalica. (2012). Aireadores y Turbinas | Hidrometálica. Recuperado: 26 de junio de 2020, disponible en: https://hidrometalica.com/aireadoresyturbinas/

Picazo, J. (1995). Aguas residuales en las industrias agroalimentarias: caracterización y sistemas de tratamiento y depuración. Recuperado 20 de junio de 2020, disponible en: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7435861.pdf

Pulido, A., Sánchez, L., Cárdenas, M. (2017). Práctica No. 03. Tratamiento de agua por coagulación floculación [Documento digital]. Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Romero, J. (2004). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 3era ed.

Suárez, J., Pretataz, J., Jácome, A., Ures, P. (2014[a]). Sistemas de Desbaste (FT-PRE-001). [Documento en línea].

Recuperado el 22 de Junio 2020, disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/324262585_Fichas_tecnicas_de_etapas_de_proceso_de_plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales_de_la_industria_textil_Serie_pretratamientos_Sistemas_de_desbaste_FT-PRE-001 ..

Suárez, J., Jácome, A., Ures, P. (2014[b]). Coagulación-Floculación (FT-PRI-001), España: Index [Documento en línea]. Recuperado 21 de junio de 2020, disponible en:

https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Coagulaci%C3%B3nfloculaci%C3%B3n.pdf/b59be3a9-558c-62c3-66e1-d89f82e3aae7

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO EN SUELOS DE PÁRAMO EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ: CASO DE ESTUDIO PÁRAMO LA CORTADERA

Javier Mauricio González Diaz[1*], Mónica Alexandra Rueda Ramírez

[1]Universidad de La Salle

**Autor corresponsal: Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle, Calle 2 No.10-70 Bloque A Piso Sexto - Barrio la Candelaria, Bogotá D.C. Cundinamarca, Código Postal 111711.Colombia. Email: javigonzalez@unisalle.edu.co*

Abstract

The moors provide various environmental services, these include carbon sequestration, climate regulation and water regulation. This project seeks to identify and evaluate the environmental impacts for the provision of the carbon sequestration environmental service in the soils of these ecosystems, in this case, in the La Cortadera moorland. The methodology used to prepare the baseline was the one proposed by the National Environmental Licensing Authority (2018) supported by the use of software and thematic maps of the study area; The environmental assessment and evaluation was carried out with the implementation of the methodology of the District Secretary of Environment (2013). In the results of this investigation it was identified that the scenario that presented the greatest number of positive impacts was the so-called “with carbon credits” and the one that presented the greatest amount of negative impacts was the “situational” scenario, in relation to the importance of the impacts, it was determined that for both scenarios the significant qualification predominates. As a conclusion, it was observed that for the situational scenario, the La Cortadera moors presents a high degree of affectation and fragmentation due mainly to the anthropic activities that were identified in the environmental baseline, in relation to the above, in the bonus scenario Carbon was observed that the implementation of this project would contribute to the recovery and conservation of the wasteland thus contributing to sustainable development which meets the thirteenth objective called climate action.

KeyWords: Carbon capture, environmental evaluation, environmental impact, environmental service, moorland.

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO EN SUELOS DE PÁRAMO EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ: CASO DE ESTUDIO PÁRAMO LA CORTADERA

Resumen

Los páramos proporcionan diversos servicios ambientales, dentro de estos se encuentran la captura de carbono, la regulación climática y la regulación hídrica. Este proyecto busca identificar y evaluar los impactos ambientales para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono en los suelos de estos ecosistemas, en este caso, en el páramo La Cortadera. La metodología utilizada para la elaboración de la línea base fue la propuesta por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (2018) apoyada con el uso de software y mapas temáticos del área de estudio; la valoración y evaluación ambiental se realizó con la implementación de la metodología de la Secretaria Distrital de Ambiente (2013). En los resultados de esta investigación se identificó que el escenario que presentó mayor número de impactos positivos fue el denominado “con bonos de carbono” y el que presento mayor cantidad de impactos negativos fue el escenario “situacional”, en lo relacionado a la importancia de los impactos, se determinó que para los dos escenarios predomina la calificación significativa. En conclusión, se observó que para el escenario situacional el páramo La Cortadera presenta un alto grado de afectación y fragmentación debido principalmente a las actividades antrópicas que se identificaron en la línea base ambiental, con relación a lo anterior, en el escenario con bonos de carbono se evidenció que la implementación de este proyecto contribuiría a la recuperación y conservación del páramo aportando así estrategias para el desarrollo sostenible el cual cumple con el objetivo número trece denominado acción por el clima.

Palabras clave: Captura de carbono, evaluación ambiental, impacto ambiental, servicio ambiental, suelos de páramo**.**

Introducción

Colombia posee el 50 % de los páramos del mundo y es catalogado como un país megabiodiverso (DNP, 2018). Es importante destacar, que los páramos colombianos son reconocidos por su oferta de servicios ecosistémicos (SE) claves para el bienestar humano, como la conservación de la biodiversidad, la provisión de hábitats para distintas especies (Rangel, 2002), la regulación hídrica, la absorción de carbono (Buytaert et al. 2007) y servicios culturales asociados con el uso de estos ecosistemas para actividades como el turismo y la investigación; sin embargo, la expansión de la frontera agrícola en áreas de ecosistemas estratégicos, así como la tala ilegal de bosques naturales, vienen generando grandes focos de deforestación y trasformación de estos territorios poniendo en peligro inminente la biodiversidad que alberga los ecosistemas (DNP, 2018). Adicionalmente, los fenómenos asociados al cambio climático (aumento de temperatura, diferentes regímenes

de precipitaciones y nubosidad) pueden aseverar esta presión y causar mayores impactos tanto en la funcionalidad y la estructura del ecosistema como en sus aspectos sociales y culturales (Hofstede, Robert *et. al.,* 2014).

Por las razones anteriores, es importante proteger los ecosistemas de páramo ya que, estos tienen una gran capacidad de almacenamiento y captura de carbono atmosférico a través de la retención de materia orgánica en los suelos, sumando a esto, los páramos se consideran escenarios de mitigación ante el efecto de cambio climático, especialmente mediante la reducción de gases de efecto invernadero como el CO_2.

El presente artículo implementa una metodología propicia para la valoración y evaluación ambiental con el fin de aportar información clave para la elaboración de un protocolo enfocado en la prestación del servicio ambiental de captura de carbono en suelos del páramo La Cortadera, a partir de la identificación y evaluación de los impactos ambientales en dos escenarios lo cuales son el escenario situacional y con bonos de carbono.

Materiales y Métodos

La Figura 1 muestra las fases en las que se elaboró la investigación, en esta sección se describe la metodología para alcanzar el objetivo definido, es importante, mencionar que las fases deben realizarse en el orden propuesto para su correcta ejecución.

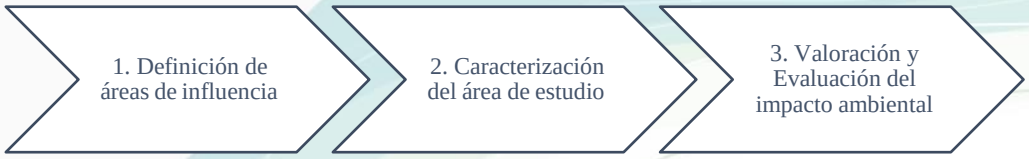


Figura 1. Fases del proyecto

Fase 1. Definición de áreas de influencia

En esta fase se definen y explican las delimitaciones de las áreas de influencia directa, indirecta y operativa, estas se elaboraron haciendo uso de herramientas como ArcGIS, Google Earth, mapas temáticos, cartografía, entre otros.

A continuación, se definió el área de influencia indirecta la cual fue delimitada de acuerdo con los posibles impactos secundarios a manifestarse fuera de los límites del área de influencia directa, de acuerdo con esto, se definió el complejo de páramos Tota- Bijagual-Mamapacha como área indirecta, debido a la continuidad de los procesos ecológicos y la interacción entre ecosistemas relacionados mediante el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge.

Por último, el área de influencia operativa se delimitó de acuerdo con la ubicación de los puntos de muestreo establecidos en suelos intervenidos, de conservación y restauración con el fin de determinar la capacidad del suelo de páramo para la prestación del servicio ambiental de captura de carbono.

Fase 2. Caracterización del área de estudio

La caracterización del área de estudio consistió en describir las características ambientales de los componentes que hacen parte de los medios biótico, abiótico y socioeconómico, para esto se consultaron estudios realizados en la zona, imágenes satelitales, información geográfica (mapas temáticos, shapefiles, geoportales), bibliografía especializada, artículos científicos, documentos técnicos e informes oficiales del área de estudio.

La recopilación de información y el tratamiento de los datos permitieron construir la línea base ambiental a partir de la metodología para la elaboración y presentación de estudios ambientales de la ANLA (2018), lo que permitió establecer el estado actual de los recursos naturales del área de estudio.

Fase 3. Evaluación ambiental

Esta fase tiene como propósito identificar los aspectos y evaluar los impactos ambientales que podría generar el proyecto, es decir, evaluar los cambios que sufriría un parámetro ambiental entre dos escenarios diferentes, denominados “situacional” y “con bonos de carbono”.

Inicialmente, se realizó la valoración ambiental, para esto, se identificaron las zonas de vida de acuerdo con la clasificación realizada por (Holdridge, 1987) para el páramo La Cortadera, la información se relacionó con la caracterización de la fase 2 del proyecto.

En relación con lo anterior, se elaboró la evaluación ambiental la cual consistió en asignar una calificación cuantitativa y cualitativa de los impactos. De este modo, la metodología implementada para la identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales fue la propuesta por la Secretaria Distrital de Ambiente (2013), la cual permitió realizar la calificación de los impactos a partir de criterios de valoración, estos fueron modificados adoptando la metodología de (Conesa, 1995), la cual permitió justificar técnicamente la evaluación y disminuir la subjetividad, ya que estos varían de acuerdo a la profesión y al grado de desarrollo de las teorías de cada disciplina.

Continuando con el procedimiento, la importancia del impacto fue calculada con la Ecuación 1, esta es clasificada como alta, moderada y baja como se muestra en la Tabla 2, en esta metodología la valoración cualitativa también hace referencia a la significancia del impacto, la cual, permite interpretar de forma unificada la relevancia del impacto de acuerdo a su valoración y el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable. Dicha clasificación permite identificar los impactos ambientales en significativos y no significativos, esto se determina con base en lo establecido en la Tabla 3.

$$I = A \times P \times D \times R \times C \times N$$ **Ecuación (1)**

Donde:

I: Importancia del impacto ambiental

A: Alcance

P: Probabilidad

D: Duración

R: Recuperabilidad

C:Cantidad

N: Normatividad

Tabla 2. Rango de Importancia - Evaluación cuantitativa y cualitativa

Rango	Descripción
Alta: > 125000 a 1000000	Se deben establecer mecanismos de mejora, control y seguimiento.
Moderada: > 25000 a 125000	Se debe revisar el control operacional.
Baja: 1 a 25000	Se debe hacer seguimiento al desempeño ambiental.

Fuente: (Secretaria Distrital de Ambiente, 2013).

Tabla 3. Significancia del Impacto Ambiental – Evaluación cuantitativa

Evaluación cualitativa	Descripción
Significativo	Cuando la importancia resulta moderada, alta o no cumple con la normatividad.
No significativo	Cuando la importancia es baja.

Fuente: (Secretaria Distrital de Ambiente, 2013).

Resultados y discusión

Fase 1. Definición de áreas de influencia

La delimitación del páramo La Cortadera fue definida como área directa del proyecto debido a que este es un ecosistema complejo, en el que existe simbiosis de múltiples atributos biofísicos y diversas expresiones socioculturales, además, en esta área estaban presentes los tres tipos de suelo de interés distribuidos en su delimitación los cuales fueron: suelo de conservación, suelo en recuperación y suelo intervenido, en donde se manifiestan los impactos ambientales significativos. Adicionalmente, se estableció como área de influencia indirecta el complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha con base en la permanencia de la continuidad ecosistémica de acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge.

Las áreas operativas del proyecto son de gran importancia en la evaluación ambiental en el escenario con bonos de carbono ya que allí se relacionaron los puntos de muestreo con tres tipos de suelo mencionados en los cuales se desarrollaron las principales actividades para la determinación del potencial de captura de carbono.

Fase 2 y 3. Caracterización del área de estudio y Evaluación ambiental

Inicialmente, se observó que el Páramo de La Cortadera presenta múltiples problemáticas ambientales relacionadas con la ampliación de la frontera agrícola, pérdida de la cobertura vegetal, incremento de la población en la zona de páramo, caza indiscriminada, incendios, contaminación de cuerpos de agua, fragmentación del ecosistema, subdivisión predial para asentamientos en zonas de páramo y agricultura.

De acuerdo con lo anterior, el criterio de calificación denominado “tipo de impacto” indicó que en el área de estudio se evidenciaron 74 impactos negativos y 8 impactos positivos que explican los cambios que se han observado en el páramo de La Cortadera.

Con base en el diagnóstico de actividades, se determinó que el suelo es uno de los recursos más afectados. Dado lo anterior, se establece que la valoración también estuvo sujeta a la función ambiental del suelo establecida por la revisión de la ecología de los ecosistemas colombianos y el sistema de clasificación de zonas de vida Holdridge. Los resultados obtenidos para el rango de importancia de los impactos ambientales se presentan en la Figura 2.

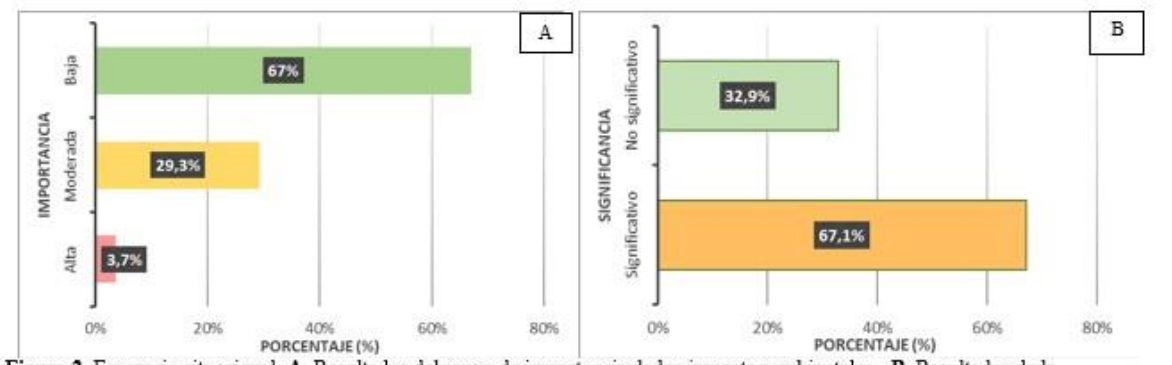


Figura 2. Escenario situacional: **A.** Resultados del rango de importancia de los impactos ambientales - **B.** Resultados de la significancia de los impactos ambientales

En la evaluación cualitativa, la significancia muestra una diferencia de 34,2% entre significativo y no significativo, esta corresponde a las actividades que se realizan en el área de interés las cuales no tienen o no cumplen con la normatividad vigente. De acuerdo con lo anterior, los resultados obtenidos para la significancia se observan en la Figura 3.

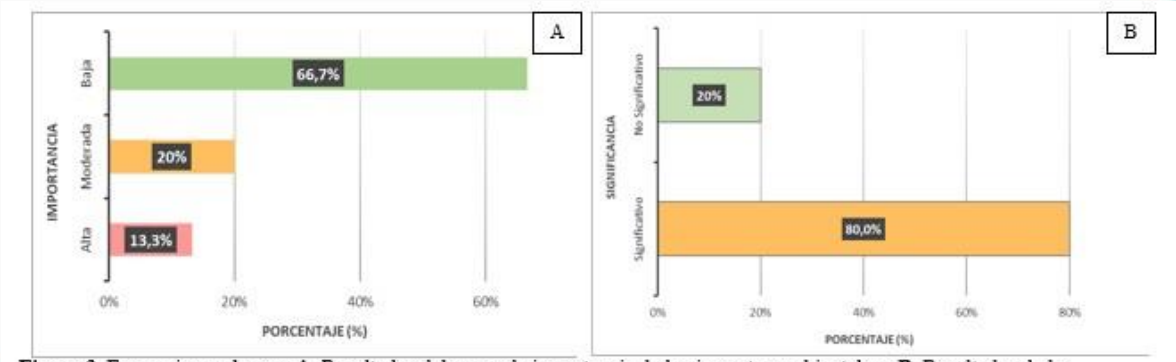


Figura 3. Escenario con bonos: **A.** Resultados del rango de importancia de los impactos ambientales - **B.** Resultados de la significancia de los impactos ambientales

En el escenario con bonos de carbono, se observó que para el área de interés según el criterio relacionado con el tipo de impacto 25 fueron clasificados como positivos y 5 como negativos. Los impactos positivos están relacionados con la implementación del protocolo para la captura de carbono, esto demuestra el servicio ambiental que puede prestar el páramo La Cortadera.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados expuesto, es posible afirmar que la mayoría de las acciones que generan impactos en el páramo La Cortadera y que se ven reflejados en casi un 90% de los componentes son la agricultura y ganadería, siendo estos identificados en el escenario situacional como los que generan más impactos negativos, por lo tanto, se deben proponer alternativas con el fin de que evitar que estos sigan aumentando.

Es importante resaltar que, en el escenario situacional, de los 8 impactos positivos, tres de estos tienen acciones relacionadas con la declaración como área protegida del páramo lo que indica que las entidades que tienen jurisdicción en este ecosistema tienen la disposición de cambiar la presión antrópica, asegurar la biodiversidad de los ecosistemas y prestar los servicios ambientales para alcanzar el desarrollo sostenible de la población.

Para finalizar, el escenario con bonos de carbono mostró una inclinación hacia los impactos positivos, lo que permite inferir que la implementación del proyecto es favorable para la preservación y conservación del páramo La Cortadera, igualmente, se debe asegurar que el conjunto de resultados significativos se prioricen antes de prestar el servicio ambiental de captura de carbono para que el páramo funcione como escenario de mitigación ante el aumento de las emisiones de CO_2 y su implementación sea efectiva y se mantenga en el tiempo.

Referencias bibliográficas

ANLA. (2018).*Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales*. Bogotá D.C.

Buytaert, W. (2007).*The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean paramo. Forest Ecology and Management.*

Conesa, V. (1995).*Guía Metodológica para la evaluación del impacto Ambiental.*

DNP, (2018).*Pago por Servicios Ambientales. Departamento Nacional de Planeación.*

Hofstede, R. (2014).*Los páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. Quito, Ecuador: UICN.

Holdridge, L. (1987).*Ecología basada en zonas de vida*. San José - Costa Rica.

Rangel, O. (2002).*Biodiversidad en la región del páramo: con especial referencia a Colombia. Congreso Mundial de Páramos*.

SDA. (2013).*Diligenciamiento de la Matriz de Identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales.* Bogotá D.C.

2, 3 y 4 de Septiembre 2020
Bayern International
63° Congreso Internacional VIRTUAL
Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables
BID
BANCO MUNDIAL BIRF • AIF

TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA LA REMOCIÓN DE ZN (II) CON EL EMPLEO DE BACTERIAS: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (2010-2019)

Dora Luz Gómez Aguilar[1*], Javier Andrés Esteban Muñoz[1], Juan Pablo Rodríguez Miranda[2]

[1]Universidad Pedagógica Nacional
[2]Universidad Distrital Francisco José de Caldas

*Autor corresponsal: Cundinamarca, Universidad Pedagógica Nacional, Calle 72 No. 11-86, Bogotá. Colombia dgomez@pedagogica.edu.co

Abstract

The objective of this research was to carry out a bibliographic review, in the period 2010-2019, in local, national and international journals, in relation to the bacteria that have been used as clean technologies in the field of wastewater treatment, in particular, in the removal of one of the inorganic contaminants considered as toxic by the World Health Organization: Zn (II), as sustainable alternatives to comply with the Millennium Goals (Sustainable Development Goals) of Agenda 2030 3 and 6, in sub numbers 3.9 and 6.9. The research was qualitative, with an exploratory approach; the stages carried out consisted of the review and selection of scientific articles, using defined key words as criteria. Subsequently, two Excel spreadsheets were created to analyze the research products chosen, in terms of the country, the type of technology used, the journal, as well as the optimal variables of the removal process detailed in the research. The above allowed us to see and conclude that 20 bacteria were used, among which eleven belong to Gram-positive and nine to Gram-negative; efficiency percentages ranged from 0.2 - 99% and maximum adsorption capacities were between 13.53 - 83.3 mg / g. Finally, at the level of the kinetics and isotherms of adsorption that most fitted to mathematical models were the pseudo second order models and the Langmuir and Freundlinch isotherms, respectively.

KeyWords: bacteria, clean technologies, Sustainable Development Goals (SDG), wastewater, zinc.

TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA LA REMOCIÓN DE Zn (II) CON EL EMPLEO DE BACTERIAS: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (2010-2019)

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo llevar a cabo una revisión bibliográfica, en el período de 2010-2019, en revistas locales, nacionales e internacionales, con relación a las bacterias que se han empleado como tecnologías limpias en el campo del tratamiento de las aguas residuales, de forma particular, en la remoción de uno de los contaminantes inorgánicos considerado como tóxico por la Organización Mundial de la Salud: Zn (II), como alternativas sostenibles para dar cumplimiento a los Objetivos del milenio (Objetivos del Desarrollo Sostenible) de la Agenda 2030 3 y 6, en los sub-numerales 3.9 y 6.9. Para ello, la investigación fue de tipo cualitativo, cuyo alcance fue de tipo exploratorio; las etapas llevadas a cabo, consistió en la revisión y selección de artículos científicos, teniendo como criterio palabras claves. Posteriormente, se realizaron dos matrices de vaciado en Excel, para realizar el análisis de los productos de investigación elegidos, en términos del país, el tipo de tecnología empleada, la revista, así como las variables óptimas del proceso de remoción detalladas en las investigaciones. Lo anterior permitió vislumbrar y concluir que se han empleado 20 bacterias, dentro de las cuales once pertenecen a Gram positivas y nueve a Gram negativas; los porcentajes de eficiencia oscilaron entre 0.2% – 99% y las capacidades de máxima adsorción estuvieron entre 13.53 – 83.3 mg / g. Por último, a nivel de las cinéticas e isotermas de adsorción que más se ajustaron a modelos matemáticos fueron los modelos de pseudo segundo orden y las isotermas de Langmuir y Freundlinch, respectivamente.

Palabras clave: aguas residuales, bacterias, Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), tecnologías limpias, zinc.

Introducción

Actualmente, los metales pesados y el tratamiento de las aguas residuales son dos de las diez categorías de problemas que se abarcan en el Indicador de Sostenibilidad Ambiental (EPI), dentro de dos objetivos de política, correspondientes a la salud ambiental y la vitalidad del ecosistema (cita). La lógica de la métrica del indicador desarrollado por el equipo de la Universidad de Yale, gira entorno a los objetivos del milenio, los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) (Wendling et al., 2018) esto se debe a que dicha medición, además de clasificar a los 180 países que contempla hasta el momento, de acuerdo a las tendencias, éxitos y fracasos de sus políticas entorno a las variables definidas, lleva a que los mismos identifiquen, reformulen, mejoren o planteen acuerdos, políticas gubernamentales o inversiones que los lleve a mejorar el control de la contaminación y los recursos naturales, que apunte hacia la sostenibilidad, gobernanza y protección del ecosistema y el cumplimiento de los ODS. (Wendling et al., 2018)

Desde esta mirada, los metales pesados como contaminantes inorgánicos que tienden a bioacumularse, biomagnificarse, además de su alta persistencia y elevada toxicidad, como una categoría tomada en el EPI, la Universidad de Yale establece como criterio lo expuesto por la Organización Mundial de la salud (2011), la cual considera trece metales como tóxicos (OMS, 2011), dentro de los cuáles se encuentra el zinc (Zn), elemento objeto de estudio de la presente investigación. Este contaminante inorgánico es un elemento que se encuentra de forma natural en el suelo, aire y agua (Albis et al., 2017); sin embargo, por las actividades antropogénicas las concentraciones de éste han ido incrementándose en los últimos años. Dentro de las aplicaciones industriales que emplean el mismo, se encuentran: el galvanizado del acero, la minería y combustión del carbón (Albis et al., 2017).

Aunque el zinc es un oligoelemento esencial para los humanos en concentraciones moderadas, cuando hay cantidades altas se presentan problemas como: úlcera de estómago, vómito, náuseas, anemia, irritación cutánea, y conforma una de las enfermedades profesionales contemplada en el Decreto 1477 de 2014, conocida como la fiebre del humo metálico (Ministerio del trabajo, 2014). Esta patología se produce principalmente por la inhalación del óxido de zinc durante la soldadura, presentándose cuadros de fiebre, tos seca, mialgias, cefalea y disnea (Figueira, 2016).

Por otro lado, en el tratamiento de las aguas residuales que contienen este contaminante generalmente se han empleado técnicas convencionales (precipitación química y adsorción con carbón activado) y avanzadas (nano filtración, ultrafiltración e intercambio iónico) para su remoción, entre otras (Caviedes et al., 2015) por otro lado, se conocen las tecnologías limpias o verdes en las cuáles se emplean técnicas como biorremediación (algas, hongos, bacterias, levaduras, especies vegetales) (Caviedes et al., 2015), biosorción con residuos agrícolas, hidrogeles, cenizas volantes y biopolímeros. Las metodologías anteriormente mencionadas presentan: alta eficiencia, y se caracterizan por que son amigables con el ambiente (Caviedes et al., 2015).

En el contexto colombiano, en la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, en la cual se establecen los límites máximos permitidos (LMP) para los vertimientos de las aguas residuales, se observa que en los artículos 10, 11, 12 y 13, el LMP para Zn es de 3 mg/L (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Desde el contexto anterior, la presente investigación tuvo como objetivo analizar el estado investigativo desde el período de 2010 a 2019, con relación al aprovechamiento de bacterias Gram positivas y Gram negativas como tecnologías en la remoción de Zn (II) presente en aguas residuales sintéticas y/o industriales con eficiencias que oscilaron entre 9.02 % - 99% y cuyas capacidades de máxima absorción presentaron un intervalo entre el 13.53 – 83.3 mg / g.

Metodología

El tipo de investigación fue de tipo cualitativo, cuyo alcance fue de tipo exploratorio-descriptivo; con relación a la revisión bibliográfica llevada a cabo, se seleccionó el periodo de tiempo de 2010-2019, donde las palabras claves empleadas (en español e inglés): microorganismos, bacterias, zinc, metales pesados, tecnologías limpias, agua residual, bioadsorción, biosorción, bioabsorción, remoción. Se realizó una búsqueda de artículos científicos a nivel local, nacional e internacional.

De los artículos científicos seleccionados, se realizaron dos matrices de análisis del contenido con relación a la primera se analizó: año de publicación, país de origen, institución, revista, autores, especie de bacteria y con relación a la segunda, tipo de bacteria, especie química del zinc, tipo de agua residual y volumen, concentración inicial del contaminante, pH óptimo, tiempo de contacto óptimo, temperatura, dosis del bioadsorbente, modelo de isoterma e isoterma de adsorción, capacidad de máxima adsorción y porcentaje de eficiencia.

Resultados y discusión

De acuerdo a los artículos seleccionados, en las tablas 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 1. Especificaciones de los artículos seleccionados de la revisión bibliográfica (2010 - 2019).

AÑO	REVISTA	PAÍS	INSTITUCIÓN	AUTOR	ESPECIE DE BACTERIA	Referencia	
2010	Journal of Hazardous Materials	India	Mosquito and Microbiology Research Units, Parasitology Laboratory, Department of Zoology, The University of Burdwan	Chatterjee, S. K., Bhattacharjee, I., & Chandra, G.	*Geobacillus thermodenitrificans*	Chatterjee *et al.*(2010)	[1]
2010	International Biodeteriorati on & Biodegradati on	Corea	Department of Biological Environment, Kangwon National University	Joo, J.-H., Hassan, S. H. A., & Oh, S.-E	*Pseudomonas aeruginosa* y *Bacillus cereus*	Joo *et al.* (2010)	[2]
2010	Journal of Hazardous Materials	China	College of Life Sciences, Shaanxi Key Laboratory of Molecular Biology for Agriculture, NorthwestA&F University	Li, H., Lin, Y., Guan, W., Chang, J., Xu, L., Guo, J., & Wei, G.	*Streptomyces ciscaucasicus*	Li *et al.* (2010)	[3]
2012	Journal of Water Resource and Protection	México	Universidad Autónoma de México; Instituto Politécnico Nacional, México	D. Bautista-Hernández, L. Ramírez-Burgos, E. Duran-Páramo and L. Fernández-Linares	*Delftia tsuruhatensis*	Bautista *et al.* (2012)	[4]
2013	Minerals Engineering	Brasil	Universidad de Rio de Janeiro	Veneu, D. M., Torem, M. L., & Pino, G. A. H	*Streptomyces lunalinharesi*	Veneu *et al.* (2013)	[5]
2013	Journal of Environment al Chemical Engineering	Iran	Ilam University	Tabaraki, R., Ahmady-Asbchin, S., & Abdi, O	*Acinetobacter sp.*	Tabaraki *et al.* (2013)	[6]
2013	Clean Techn Environ Policy	India	Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Roorkee	Mishra, V., Balomajumder, C. & Agarwal, V.K	*Bacteria secuestrante de zinc VMSDCM*	Mishra *et al.* (2013)	[7]
2014	Desalination and Water Treatment	Iran	Ilam University ; University of Mazandaran	Ahmady-Asbchin, S., Safari, M., & Tabaraki, R.	*Pseudomonas aeruginosa*	Ahmady *et al.* (2014)	[8]
2015	Desalination and Water Treatment	Turquía	Anadolu University	Malkoc, S., Kaynak, E., & Guven, K	*Variovorax paradoxus* y *Arthrobacter viscosus*	Malkoc *et al.* (2015)	[9]
2015	Ecotoxicolog y and Environment al Safety	Tailandia	Mahidol University; Mahidol University International College	Limcharoensuk, T., Sooksawat, N., Sumarnrote, A., Awutpet, T.,	*Tsukamurella paurometabola A155, Pseudomonas aeruginosa B237 y*	Limcharoe nsuk *et al.* (2015)	[10]

				Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Auesukaree, C.	*Cupriavidus taiwanensis E324*		
2015	Int. J. Environ. Res.	Turquía	Suleyman Demirel University	Sofu, A, Sayilgan, E. y Guney, G.	*Lactobacillus delbrueckiissp bulgaricus(Lb-12), Streptococcustherm ophillus (STM-7)*	Sofu *et al.* (2015)	[11]
2015	Polish Journal of Chemical Technology	Polonia	Opole University	Wierzba, S	*Stenotrophomonas maltophilia* y *Bacillus subtilis*	Wierzba (2015)	[12]
2018	Sustainable Environment Research	Filipinas	Mapua University	Quiton, K. G., Doma, B., Futalan, C. M., & Wan, M.-W.	*E. coli and Staphylococcus epidermidis*	Quiton *et al.* (2018)	[13]
2018	Saudi Journal of Biomedical Research (SJBR)	Egipto	Al-Azhar University; Central metallurgical research and development Institute (CMRDI)	T.A.A El-Barbary, M.A El-Badry	*Bacillus megaterium EMCC 1013, Rhizobium rhizogenes EMCC1743, Rhizobium leguminosarum EMCC1130, Azotobacter vinelandii and Nocardiopsis Dassenvillei*	El-Barbary y El-Badry (2018)	[14]

De acuerdo con lo expuesto en la tabla 1, de la revisión bibliográfica llevada a cabo en el periodo de 2010 a 2019 se encontraron 14 artículos, de los cuales: tres en 2010, uno se divulgo en 2012, tres en 2013, uno en 2014, cuatro en 2015 y dos en 2018, todos en revistas internacionales. De los países que han realizado investigaciones empleando microorganismos en el tratamiento de aguas residuales, de forma particular en la remoción de Zn (II), corresponden a: Brasil, China, Egipto, Filipinas, India, Irán, Corea, México, Polonia, Tailandia y Turquía. Por último, se observaron que se han empleado 20 tipos de bacterias para el proceso de biosorción del contaminante indicado, las cuáles se explicarán a continuación y ateniendo a los resultados de la tabla 2.

Tabla 2. Variables óptimas de adsorción obtenidas para la remoción de Zn (II), empleando bacterias.

TIPO DE BACTERIA	ESPECIE	TIPO DE AGUA RESIDUAL	VOLUMEN AGUA RESIDUAL (mL)	CONCENTRACIÓN INICIAL DEL CONTAMINANTE	pH ÓPTIMO	TIEMPO DE CONTACTO	TEMPERATURA (°C)	DÓSIS BIOADSORBENTE	AGITACIÓN (RPM)	MODELO CINÉTICO	ISOTERMA DE ADSORCIÓN	CAPACIDAD DE MAXIMA ADSORCIÓN (q máx.) (mg/g)	% EFICIENCIA	REF
Geobacillus Thermodenitrificans	II	Industrial (Kalajharia - Steel industries, iron foundries and electroplating industries)	500	175	6.5	120	65	0,100	100	NE	Langmuir	48.26	9,02	[1]
Pseudomonas aeruginosa	II	Sintética	20	50	6	30	30	1	150	Pseudo segundo orden	Langmuir	83.30	NE	[2]
Bacillus cereus												66.60		
Streptomyces ciscaucasicus	II	Sintética	NE	150	5	90	28	1.5	120	Pseudo segundo orden	Langmuir	42.75	96	[3]
Delftia tsuruhatensis	II	Sintética	10	NE	6	15	25	1.5	3500	Pseudo segundo orden	Langmuir	13.56	NE	[4]
Streptomyces lunalinharesi	II	Sintética	250	20	6	240	25	1	120	Pseudo segundo orden	Langmuir	13.64	60	[5]
Acinetobacter sp.	II	Sintética	250	100	6	90	25	0.5	100	Pseudo primer orden	Freundlich	36.60	NE	[6]
Bacteria secuestrante de zinc VMSDCM	II	Sintética	NE	10000	NE	10	25	10	150	NE	Langmuir	431.50	81,28	[7]
Pseudomonas aeruginosa	II	Sintética	250	100	6	90	40	0.5	100	Pseudo segundo orden	Freundlich	46.10	NE	[8]

Variovorax paradoxus y *Arthrobacter viscosus*	II	Sintética	NE	50	7	60	35	1	125	Pseudo segundo orden	Freundlich	45	90.8% - 92.7%	[9]
Tsukamurella paurometabola A155, Pseudomonas aeruginosa B237 y Cupriavidus taiwanensis E324	II	Sintética	NE	25	6	120	30	1	200	Pseudo primer orden	Langmuir	*P. aeruginosa B237 & T. paurometabola A155* (16.75)	80% - 60%	[10]
Lactobacillus delbrueckiissp bulgaricus(Lb-12), Streptococcusthermophillus (STM-7)	II	Sintética	NE	100	9	180	20	15	150	NE	NE	NE	70% - 90%	[11]
Stenotrophomonas maltophilia / *Bacillus subtilis*	II	Industrial (Polonia-manufactura)	1000	178,2	5.5	60	30	1	200	NE / NE	Langmuir	47.8 / 49.7	70% - 90%	[12]
E. coli and Gram-positive Staphylococcus epidermidis	II	Sintética	NE	200	5	1440	25	0.5	150	Pseudo segundo orden	Langmuir	49 - 78	50% - 60%	[13]
Bacillus megaterium EMCC 1013 / *Rhizobium rhizogenes EMCC1743* / *Rhizobium leguminosarum EMCC1130* / *Azotobacter vinelandii* / *Nocardiopsis Dassonvillei*	II	Sintética	1000	650	7	1440	30	10	150	NE	NE	NE	99% / 76% / 77%	[14]

Con relación a la tabla 2, se observa que entre 2010 a 2018 se reportaron 20 especies de bacterias que realizan la remoción de Zinc, de las cuales once de éstas pertenecen a bacterias de tipo Gram positivas (Geobacillus thermodenitrificans, Bacillus cereus, Streptomyces ciscaucasicus, Artrobacter viscosus, Tsukamurella paurometabola, Lactobacillus del brueckiissp bulgaricus, Streptococcusthermophillus, Bacillus subtilis, Staphylococcus epidermidis, Bacillus megaterium y Nocardiopsis Dassonvillei) y nueve a bacterias Gram negativas (Pseudomonas aeruginosa, Delftia tsuruhatensis, Acinetobacter sp, Variovorax paradoxus, Cupriavidus, Stenotrophomonas maltophilia, E. coli, Rhizobium leguminosarum y Azotobacter vinelandii).

Dentro de los parámetros analizados se encuentran:

1. Los porcentajes de eficiencia, los cuales oscilaron entre el 9,02 al 99%, encontrándose que el de menor eficiencia la reporto la bacteria Geobacillus thermodenitrificans y la de mayor eficiencia fue reportada por la bacteria de Bacillus megaterium; cabe indicar que, las dos bacterias mencionadas son del tipo de las Gram-positivas.
2. Las capacidades de máxima adsorción oscilaron entre valores del 13.53 a 83.30 mg/g; la bacteria que reportó el menor valor fue Delftia tsuruhatensis y la que reporto el mayor valor fue Pseudomonas aeruginosa, siendo éstas dos bacterias del tipo Gram-negativas.
3. A nivel de las cinéticas e isotermas de adsorción, los modelos matemáticos que más se ajustaron a los resultados fueron las cinéticas de Pseudo segundo orden y las isotermas de Langmuir y Freundlich.

Conclusiones

De acuerdo a la revisión bibliográfica llevada a cabo en el período 2010 a 2019 con relación a la remoción de Zn (II) empleando bacterias, la tendencia investigativa mostro que los países que han aportado en un 14,28% del total de los artículos científicos son India (2010-2013), Irán (2013-2014) y Turquía (2015) respectivamente. Por otro lado, de las veinte bacterias reportadas para la bioadsorción del contaminante es la Bacillus megaterium la que presento una eficiencia del 99% siendo esta de tipo Gram-positiva. Por último, es importante señalar la importancia de seguir la investigación en este campo, para laremoción de metales pesados en aguas residuales industriales para evitar el deterioro del ambiente y con ello cumplir los subnumerales de los ODS 3.9 y 6.9 de la agenda 2030.

Referencias bibliográficas

Ahmady-Asbchin, S., Safari, M., Tabaraki, R. (2014). Biosorption of Zn (II) byPseudomonas aeruginosaisolated from a site contaminated with petroleum. Desalination and Water Treatment, 54(12), 3372–3379. doi:10.1080/19443994.2014.9132

Albis A., Alberto, Martínez, Jader E., Santiago, Pablo J.. (2017). Remoción de zinc (II) de soluciones acuosas usando cáscara de yuca (Manihot esculenta): experimentos en columna. Prospectiva, 15(1), 16-28, doi: https://dx.doi.org/10.15665/rp.v15i1.773

Bautista-Hernández, D. A., Ramírez-Burgos, L. I., Duran-Páramo, E., & Fernández-Linares, L.. (2012). Zinc and Lead Biosorption by Delftia tsuruhatensis: A Bacterial Strain Resistant to Metals Isolated from Mine Tailings. Journal of Water Resource and Protection4, 207-216, doi: http://doi.org/10.4236/jwarp.2012.44023

Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. R. Ingeniería y Región, 13(1). 73-90, doi: 10.25054/22161325.710

Chatterjee, S. K., Bhattacharjee, I., Chandra, G. (2010). Biosorption of heavy metals from industrial waste water by Geobacillus thermodenitrificans. Journal of Hazardous Materials, 175(1-3), 117–125. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.09.136

El-Barbary, T & Hafez, Mohamed. (2018). Bioremediation Potential of Zn (II) By Different Bacterial Species. Saudi J. Biomed. Res., 3(4), 144-150, doi: 10.21276/sjbr.2018.3.4.3.

Figueira, J. (2016). Fiebre recurrente en paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) que trabaja como soldador. Semergen, 42(8): e152-e153, doi: https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-pdf-S113835931600085X

Joo, J.-H., Hassan, S. H. A., Oh, S.-E. (2010). Comparative study of biosorption of Zn2+ by Pseudomonas aeruginosa and Bacillus cereus. International Biodeterioration & Biodegradation, 64(8), 734–741, doi:10.1016/j.ibiod.2010.08.007

Li, H., Lin, Y., Guan, W., Chang, J., Xu, L., Guo, J., Wei, G. (2010). Biosorption of Zn(II) by live and dead cells of Streptomyces ciscaucasicus strain CCNWHX 72-14. Journal of Hazardous Materials, 179(1-3), 151–159. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.02.072

Limcharoensuk, T., Sooksawat, N., Sumarnrote, A., Awutpet, T., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Auesukaree, C. (2015). Bioaccumulation and biosorption of Cd 2+ and Zn 2+ by bacteria isolated from a zinc mine in Thailand. Ecotoxicology and Environmental Safety, 122, 322–330. doi:10.1016/j.ecoenv.2015.08.013

Malkoc, S., Kaynak, E., & Guven, K. (2015). Biosorption of zinc (II) on dead and living biomass ofVariovorax paradoxusandArthrobacter viscosus. Desalination and Water Treatment, 57(33), 15445–15454. doi:10.1080/19443994.2015.1073181

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). Resolución 631 de 2015. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Ministerio del Trabajo (2014). Tabla de enfermedades laborales. Disponible en: https://safetya.co/normatividad/decreto-1477-de-2014/

Mishra, V., Balomajumder, C., & Agarwal, V. K. (2013). Biological removal of heavy metal zinc from industrial effluent by Zinc sequestering bacterium VMSDCM. Clean Technologies and Environmental Policy, 16(3), 555–568, doi: 10.1007/s10098-013-0655-x

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2011). Adverse health effects of heavy metals in children. Disponible en: https://www.who.int/ceh/capacity/heavy_metals.pdf

Quiton, K. G., Doma, B., Futalan, C. M., & Wan, M.-W. (2018). Removal of chromium(VI) and zinc(II) from aqueous solution using kaolin-supported bacterial biofilms of Gram-negative E. coli and Gram-positive Staphylococcus epidermidis. Sustainable Environment Research, 28(5), 206–213. doi:10.1016/j.serj.2018.04.002

Sofu, A., Sayilgan, E., Guney, G. (2015). Experimental Design for Removal of Fe(II) and Zn(II) Ions by Different Lactic Acid Bacteria Biomasses. Int. J. Environ. Res., 9(1), 93-100. https://ijer.ut.ac.ir/pdf_878_0549c95e77f529076786682b8d2423a2.html

Tabaraki, R., Ahmady-Asbchin, S., & Abdi, O. (2013). Biosorption of Zn(II) from aqueous solutions by Acinetobacter sp. isolated from petroleum spilled soil. Journal of Environmental Chemical Engineering, 1(3), 604–608. doi:10.1016/j.jece.2013.06.024

Veneu, D. M., Torem, M. L., & Pino, G. A. H. (2013). Fundamental aspects of copper and zinc removal from aqueous solutions using a Streptomyces lunalinharesii strain. Minerals Engineering, 48, 44–50. doi:10.1016/j.mineng.2012.11.015

Wendling, Z.A.; Emerson, J.W.; Esty, D.C.; Levy, M.A.; de Sherbinin, A.; Spiegel, N.; Pinkerton, V.; Bouncher, L.;Ratté, S.; Mardel, S. (2018). Environmental Performance Index; Yale Center for Environmental Law & Policy:New Haven, CT, USA, disponible en: https://epi.envirocenter.yale.edu/2018/report/category/hlt

Wierzba, S. (2015). Biosorption of lead(II), zinc(II) and nickel(II) from industrial wastewater by Stenotrophomonas maltophilia and Bacillus subtilis. Polish Journal of Chemical Technology, 17(1), 79–87, doi:10.1515/pjct-2015-0012

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA POR EL DISTRITO DE RIEGO USOCHICAMOCHA PARA DETERMINAR SU INCIDENCIA EN LOS CULTIVOS DEL ÁREA EN BOYACÁ, COLOMBIA.

L.C Moscoso[1*], R. González [2], G. Cely [3]

[1]Universidad la Salle
[2]Universidad la Salle
[3]Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

*Autor corresponsal: Cundinamarca, Universidad de la Salle, Carrera 2 No 10-70, Candelaria, Bogotá. Código postal: 111711. Colombia. Email: lmoscoso80@unisalle.edu.co

Abstract

Irrigation in the crops is important since it allows to increase the productivity of the crops, and the profits for the beneficiaries. When irrigation waters do not have adequate water quality, they generate unfavorable aspects in crops and in the long term in the public health of consumers. The variation in the quality of water supplied by the USOCHICAMOCHA irrigation district in the department of Boyacá, Colombia was analyzed to see its impact on the area's crops. To achieve this, there was the support of the ZIRC research seedbed (research nursery in critical area) of the University of La Salle in visits and samples, a bibliographic search and a recognition visit to the place was carried out to know all the necessary aspects For the development of the project, two technical visits to the site were carried out in different months, there were taken 10 water samples corresponding to the pumping stations throughout the irrigation district at each visit and both physical and chemical parameters were analyzed both exsitu, finally observed the incidence that the water that is distributed in the irrigation district could have with the crops of the area through the ArcGIS tool through the relationship of the district's water quality and the capacity of land uses that They are in the area of distribution of the place.

KeyWords : Irrigation District, physicochemical characteristics, soil, supply, Water quality

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA POR EL DISTRITO DE RIEGO USOCHICAMOCHA PARA DETERMINAR SU INCIDENCIA EN LOS CULTIVOS DEL ÁREA EN BOYACÁ, COLOMBIA.

Resumen

El riego en los cultivos es importante puesto que permite aumentar la productividad de las cosechas, y las ganancias para los beneficiados. Cuando las aguas de irrigación no poseen la calidad del agua adecuada generan aspectos desfavorables en los cultivos y a largo plazo en la salud pública de los consumidores. Se analizó la variación de la calidad del agua suministrada por el distrito de riego USOCHICAMOCHA en el departamento de Boyacá, Colombia para ver su incidencia en los cultivos del área. Para lograr esto se contó con el apoyo del semillero de investigación ZIRC (semillero de investigación en zona crítica) de la Universidad de La Salle en visitas y muestreos, se realizó una búsqueda bibliográfica y una visita de reconocimiento al lugar para conocer todos los aspectos necesarios para el desarrollo del proyecto, se llevaron a cabo dos visitas técnicas al lugar en meses diferentes, allí se tomaron 10 muestras de agua correspondientes a las estaciones de bombeo a lo largo del distrito de riego en cada visita y se analizaron distintos parámetros fisicoquímicos, finalmente se observó la incidencia que podía llegar a tener el agua que se distribuye en el distrito de riego con los cultivos de la zona mediante la herramienta ArcGIS mediante la relación de la calidad de agua del distrito y la capacidad de los usos del suelo que se encuentran en el área de distribución del lugar.

Palabras clave: Calidad del agua, características fisicoquímicas, Distrito de Riego, suelo, suministro**.**

Introducción

La agricultura y su productividad es determinante para lograr el abastecimiento de alimentos a nivel mundial, los sistemas de riego ayudan a usar de manera mas eficiente y racionada el agua durante la produccion agricola (El dinero, 2017). Los distritos de riego se definen como un área de influencia debidamente delimitada que posee obras de infraestructura destinadas a dotar a la comunidad con riego, drenaje o protección contra inundaciones, todo esto con el fin de elevar la productividad agropecuaria de la zona (Secretaria de agricultura, 2017). Colombia posee un potencial de suelos aptos para el riego de 11.855.513 hectáreas las cuales representan el 10,4% de los suelos con potencial agropecuario (Gomez, 2017). A partir de 1977 se han logrado consolidar 731 Distritos en Colombia, de los cuales 18 son considerados los mas grandes, sin embargo únicamente dos distritos (Zulia ubicado en norte de Santander y El Valle de Sibundoy en Putumayo) cuentan con estudios técnicos y científicos suficientes para establecer la vocación, uso y capacidad de los suelos ((IGAC, 2017). Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el 11,1% del área del departamento de Boyacá cuenta con capacidad agropecuaria. Lamentablemente el 53.6% del área es destinada a la producción de estos cultivos y actividad ganadera. Estudios de la entidad revelaron además que el uso predominante debería ser la protección ambiental, ya que el 84,7% de sus suelos tiene tierras no arables (agroforestales) y terrenos para la conservación pero estas cifras tampoco se observan en la actualidad puesto que apenas el 42,6% es destinado a la actividad forestal de protección o producción. Como

resultado del uso inadecuado de las tierras y los pocos estudios semidetallados del suelo en el sector (18%) se obtiene que el 42.5% del suelo es sobreutilizado mientras que el 5.8% es subtutilizado.

Metodología

El estudio se realizó en el distrito de riego USOCHICAMOCHA, departamento de Boyacá. Para determinar el uso y distribución de las aguas proporcionadas por el distrito se hizo una visita de reconocimiento al lugar, se realizó una búsqueda bibliográfica que permitiera entender todos los aspectos necesarios para el desarrollo del proyecto. Para identificar la variación de las características fisicoquímicas a lo largo del distrito de riego se llevaron a cabo dos visitas técnicas al lugar en el mes de mayo y noviembre, allí se tomaron 10 muestras de agua correspondientes a las estaciones de bombeo a lo largo del distrito de riego en cada visita. Posteriormente se analizaron parámetros en el laboratorio: Sulfatos, pH, conductividad, calcio, magnesio, sodio, cloruros, bicarbonatos, dureza total, fosfatos. Luego se realizó una comparación de los resultados del agua con la normatividad pertinente para determinar la calidad del agua del distrito. Finalmente se buscó la incidencia que puede llegar a tener el agua distribuida por el distrito de riego con los cultivos de la zona.

Resultados y discusión

El río Chicamocha recorre el centro-oriente de Colombia, nace de la unión del río Tuta con el río Jordán, en el departamento de Boyacá, pasa por el departamento de Santander y desemboca en el rio Sogamoso. Se desplaza por 26 municipios con un área de cuenca de 214019 Ha (rios del planeta, 2019), este río es receptor de distintos efluentes tanto domésticos como industriales (Imagen1).

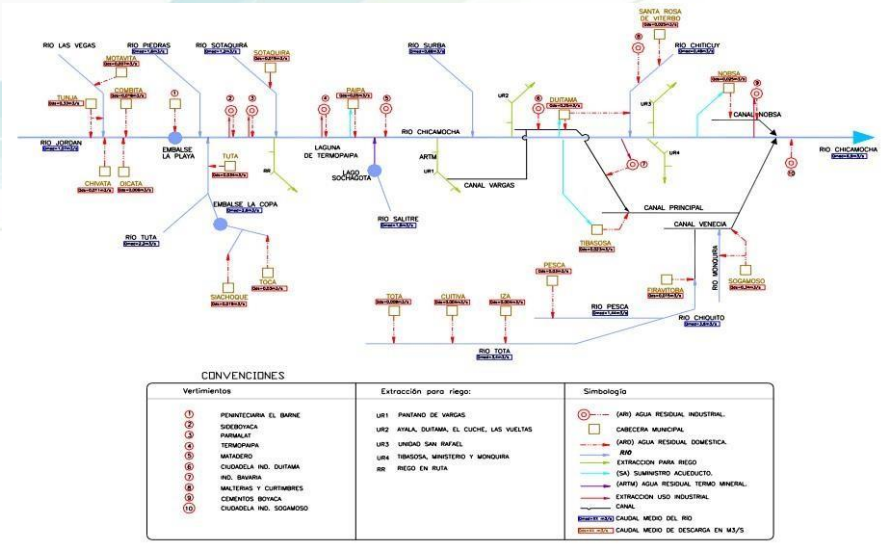


Imagen 1. Condiciones hídricas rio Chicamocha. Autor. CORPOBOYACA, 2006

El distrito de riego USOCHICAMOCHA se encuentra ubicado en la cuenca alta del rio chicamocha y esta conformado por áreas de los municipios de Paipa, Duitama, Tibasosa, Nobsa, Sogamoso, Santa Rosa de Viterbo y Firavitoba. En 1997 se dio la inversión al "Proyecto de Adecuación de Tierras y Establecimiento de Sistema de Riego por Aspersión – Distrito de Riego del Alto Chicamocha" por parte del estado con un costo aproximado de 42.000 millones de pesos, (Bermudez, 2003), está compuesto por 11 unidades de riego (Ayalas, Holanda, Pantano de vargas, Tibasosa, Moniquira, Cuche, Duitama, Las vueltas, Ministerio, Surba, San Rafael). Cada estación de riego es independiente, suministra agua con presión aproximada de 100 psi y capacidad de 380 m3/h. El sistema está formado por una red de drenaje principal y secundario de 240 km de canales y ríos (USOCHICAMOCHA,).

El Distrito de Riego del Alto Chicamocha cuenta con 11300 Ha, de las cuales según el Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales, 2.756 ha se encuentran bajo la influencia de Suelos Sulfatados por lo que los campesinos se ven afectados al tener altos costos de recuperación (Alvaro Rincon, 2008). La producción agrícola se caracteriza por la siembra de cultivos como: cebolla de bulbo (41%), papa (17%), hortalizas (12%) y frijol, papa, maíz, arveja y frutas (Gomez, 2017). En este distrito se producen cerca de 190.000 ton/año de alimentos por lo que la irrigación en estos cultivos es de gran importancia, el riego incrementa la producción agropecuaria y genera una valorización a los campesinos puesto que no solo generan mayores ganancias sino que, permite la transición a productos de mayor rendimiento y valor como frutas y hortalizas (Juan Perfetti, 2019).

En cuanto a la aptitud de usos de la tierra del departamento la mayor parte de esta puede ser utilizada en mezclas de cultivos, pastos y bosques (sistemas agrosilvopastoriles) lo que permitirá preservar los suelos contra la erosión. "El uso más recomendable es la asociación de cultivos permanentes y semi permanentes como frutales con especies forestales maderables o productoras de fibras, frutos o forrajes" (CORPOBOYACA, 2006). A partir de los shapefiles encontrados en el Geoportal del IGAC subidos en el 2017 se muestran los usos actuales y potenciales del suelo presentes en el Distrito de Riego Usochicamocha (Imagen 2 y 3). Si las cosechas de los cultivos presentes en el Distrito de Riego dejasen de ser productivas no se podría pensar que es debido a un conflicto de uso de suelos salvo en el área donde su uso potencial pertenece a bosques protectores y de turismo debido a una sobreutilización en el lugar.

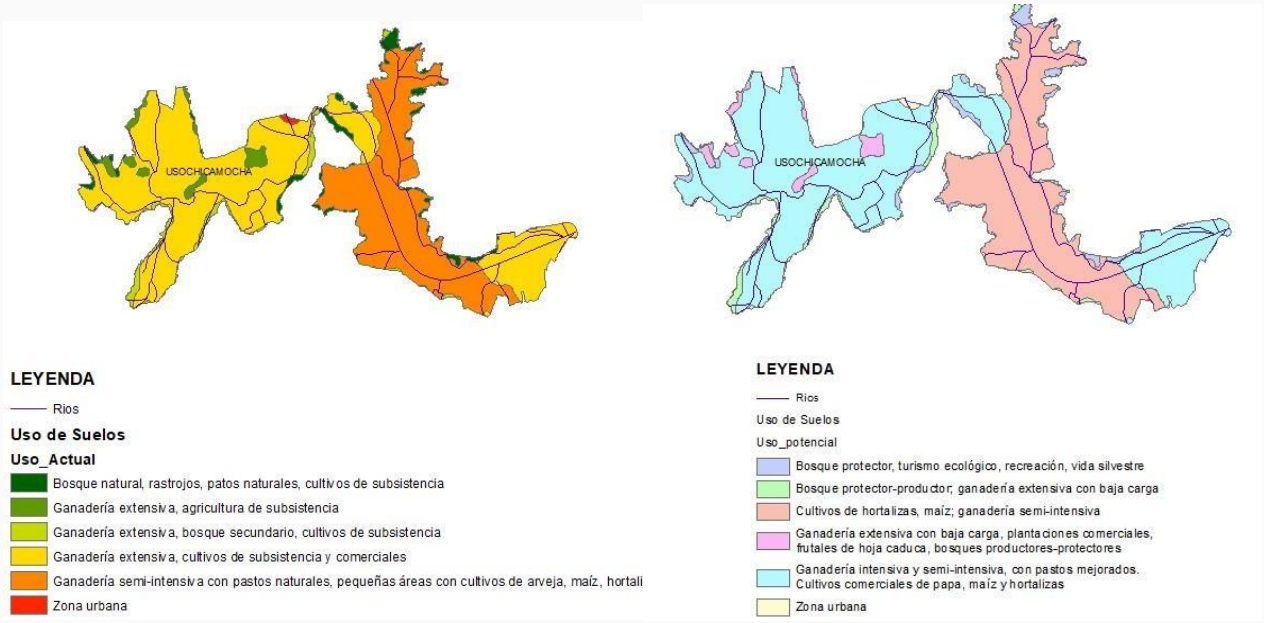


Imagen 2.Uso de suelos actual Distrito de Riego Usochicamocha

Imagen 3. Uso potencial de suelos Distrito de Riego Usochicamocha

Para observar la variacion en la calidad del agua a lo largo del Distrito de Riego Usochicamocha se muestran los resultados de los muestreos realiados (tabla 1 y 2).

Tabla 1. Resultados calidad del agua muestreo 1. Fuente IGAC

nombre	pH	conductividad (µS)	RAS	calcio (mmol/L)	magnesio (mmol/L)	potasio (mmol/L)	sodio (mmol/L)	sumcationes	sulfato (mmol/L)	cloruro (mmol/L)	bicarbonatos (mmol/L)	sum aniones	dureza total (g.h.f)	fosfato (mmol/L)
moniquira	6,68	383	3,36	0,743	0,225	0,136	2,34	3,444	1,81	1,15	0,49	3,45	1,949	0,07
ministerio	6,5	332	3,51	0,674	0,223	0,14	2,35	3,387	1,88	0,87	0,53	3,28	1,777	0,08
tibasosa	6,87	420	3,84	0,722	0,23	0,152	2,65	3,754	2,08	0,98	0,54	3,6	1,9	0,13
sanrafael	6,93	499	4,2	0,883	0,28	0,179	3,2	4,451	2,14	1,16	0,56	3,86	2,321	0,1
vueltas	6,79	439	3,35	0,943	0,238	0,16	2,57	3,91	2,27	1	0,79	4,06	2,455	0,05
duitama	6,65	471	4,6	0,728	0,216	0,185	3,16	4,289	2,61	1,12	0,6	4,33	1,908	0,08
holanda	7,2	407	3,77	0,742	0,211	0,186	2,6	3,739	2,04	1,01	0,72	3,77	1,942	0,21
surba	7,22	397	3,22	0,669	0,22	0,146	2,145	3,181	1,85	1,27	0,79	3,91	1,764	0,14
pantano	3,54	1295	0,9	6,923	2,459	0,408	1,94	11,729	7,51	3,78		11,29	18,319	0,07
ayala	6,68	332	3,1	0,627	0,225	0,145	2,025	3,022	1,56	0,8	0,61	2,96	1,659	0,16

Tabla 2. Resultados calidad del agua muestreo 2. Fuente: Autores

nombre	pH	conductividad (µS)	RAS	calcio (mmol/L)	magnesio (mmol/L)	potasio (mmol/L)	sodio (mmol/L)	sum cationes	sulfato (mmol/L)	cloruro (mmol/L)	bicarbonatos (mmol/L)	sum aniones	dureza total (g.h.f)	fosfato (mmol/L)
moniquira	8	980	1,025	0,811	9,617	0,130	2,34	12,898	3,291	1,920	0,86	6,071	2,6625	0,19
ministerio	7,82	710	1,297	0,499	6,068	0,260	2,35	9,177	4,526	0,430	0,86	5,816	1,675	0,04
tibasosa	7,62	400	1,451	1,934	4,735	0,020	2,65	9,339	3,703	0,430	0,983	5,116	1,925	0,08
sanrafael	7,33	510	1,499	3,773	5,34	0,460	3,2	12,773	5,349	1,810	1,106	8,265	2,8125	0,18
vueltas	7,35	540	1,091	2,619	8,485	0,430	2,57	14,104	4,526	0,420	3,688	8,634	3,1125	0,06
duitama	7,84	290	2,126	0,561	3,857	2,610	3,16	10,188	3,703	0,280	0,799	4,782	1,1625	0,23
holanda	8,03	440	1,514	0,655	5,245	2,400	2,6	10,900	5,76	0,390	0,983	7,133	1,5375	0,17
surba	7,62	870	1,195	1,248	5,194	0,133	2,145	8,720	5,349	0,550	0,922	6,821	1,7625	0,13
pantano	8,08	710	0,997	1,092	6,48	0,080	1,94	9,592	6,172	0,690	0,983	7,845	2,0125	0,12
ayala	7,45	580	1,219	1,092	4,423	0,080	2,025	7,620	4,937	0,460	0,615	6,012	1,5125	0,28

En Colombia no existe normativa alguna que indique la calidad del agua propicia para riego de cultivos por lo que es necesario basarse en valores que son considerados “normales” en aguas de riego para otros países.

Dos parámetros de gran importancia para la determinación de la calidad del agua para riego es la conductividad eléctrica puesto que puede afectar la disponibilidad de agua para los cultivos y la relación de adsorción de sodio RAS ya que puede reducirse la velocidad de infiltración del agua en el suelo debido a que el sodio se incorpora en el suelo y deteriora su estructura (Monge, 2018). Teniendo en cuenta la Imagen 3 existe un bajo riesgo sódico en el suelo y un grado medio de riesgo salino por lo que el agua de riego no generara daños en la estructura del suelo ni problemas de infiltración del agua en el mismo (Smart).

El índice de Scott evalúa la toxicidad que pueden producir las concentraciones de cloruros y sulfatos en los suelos que terminan imposibilitando el desarrollo normal de los cultivos (Anónimo), para determinar este valor es necesario determinar si la ecuación 1, 2 o 3 es la indicada.

$Na^+ - 0.65\ Cl^- £ 0$

$$K = \frac{2040}{Cl^-} \qquad \textbf{Ecuación (1)}$$

$Si\ 0 £ Na^+ - 0.65\ Cl^- £ 0.48\ SO_4^2$

$$K = \frac{6620}{2.6\ Cl^- + Na^+} \qquad \textbf{Ecuación (1)}$$

$Si\ Na^+ - 0.65\ Cl^- {}^3\ 0.48\ SO_4$

$$K = \frac{662}{Na^+ - 0.32Cl^- - 0.48\ SO_4^{2-}} \qquad \textbf{Ecuación (1)}$$

Donde:

K: Coeficiente del indice de Scott
Na: Sodio
Cl: Cloruro
SO_4: Sulfatos

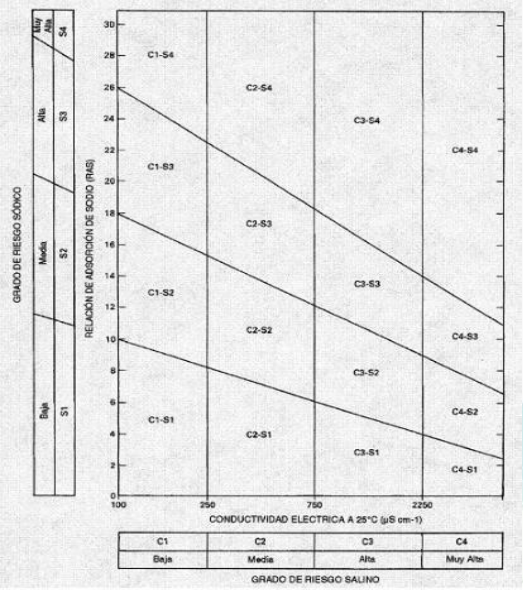


Imagen 4. Grado de riesgo del agua. Autor. Smart

Según el Laboratorio Venado de Argentina cuando el valor del coeficiente K es < 1.2 el agua no es utilizable para riego, cuando esta entre 1.2 y 6 deben seleccionar los suelos para el uso de riego; de 6 a 18 se debe tener cuidado con la acumulación de sales en el suelo y cuando el valor es mayor a 18 la calidad del agua es buena para el riego. A partir de los resultados de la Tabla 3 se puede inferir que el agua a lo largo del distrito de Riego posee la calidad adecuada para el riego sin peligro de que los cultivos no tengan un desarrollo natural en el área.

Tabla 3. Índice de Scott. Fuente: Autores

Nombre	Indice de Scott K	
	Muestreo 1	Muestreo 2
moniquira	41,406	30,064
ministerio	49,374	28,683
tibasosa	43,806	37,016
sanrafael	36,684	46,937
vueltas	43,725	54,138
duitama	37,652	22,114
holanda	43,302	69,377
surba	39,808	88,526
pantano	15,224	69,276
ayala	55,203	77,809

Los fosfatos son relevantes en las aguas puesto que, en altas concentraciones causa eutrofización en los cuerpos de agua, estos fosfatos pueden llegar al agua por el lavado de suelos con altas cantidades de este contaminante, los valores normales que se encuentran en este tipo de aguas va de 0 a 0.06 mmol/L por lo que, en estaciones como San Rafael, Holanda, Surba y Ayala donde se mantuvo un valor que sobrepasa el límite normal en ambos muestreos deben ser estudiados con mayor atención. La variación de valores en las demás estaciones puede deberse a las lluvias en el sector que hayan podido arrastrar el contaminante al cauce del rio por escorrentía.

Conclusiones

A pesar de que el Rio Chicamocha tiene un gran número de descargas de aguas residuales tanto domesticas como industriales, el agua proporcionada por el Distrito de Riego USOCHICAMOCHA no presenta mayor incidencia sobre los suelos y cultivos de la zona, sin embargo, los parámetros tienden a cambiar en cada estación de riego. Los fosfatos deben ser estudiados con mayor detenimiento puesto que en varias estaciones se mantienen valores que sobrepasan los límites permisibles creando eutrofización en las aguas lo que puede traer graves afectaciones en el distrito a largo plazo. Se hace necesario identificar posibles fuentes de contaminación en cada estación para generar soluciones que permitan entregar agua con la misma calidad a lo largo de todo el distrito y así garantizar la inocuidad alimentaria vista desde la perspectiva del agua de riego.

Agradecimientos. Al semillero de investigación en zona critica de la Universidad de la Salle y su directora Rosalina González, quienes apoyaron todo el proyecto. Al profesor German Cely de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por ayudar a realizar los muestreos pertinentes en cada estación, así como estar pendiente de toda la información que se requería para llevar a cabo el proyecto y, finalmente al Distrito de Riego Usochicamocha por permitir la realización del proyecto en el lugar.

Referencias bibliográficas

Anónimo. Calidad de agua de riego. Acceso el 22 de enero de 2020. Disponible en: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/PedroJoseDeLosAngeles/02i_AnalisisAgua.pdf?fbclid=IwAR1BLCmYAArBifpColy9czGXfYZNQwmT9yWmVGUrU3HXusnVLjyvKCrfUEc

Álvaro Rincón (2008). Caracterización física de los suelos sulfatados ácidos del Distrito de Riego del Alto Chicamocha. Agronomía Colombiana, 134-145

El dinero (2017). Sistemas de riego son vitales para la agricultura dominicana. Acceso el 22 de enero de 2020. Disponible en http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1027860/

Gómez (2017). ESTADO DEL ARTE DEL DISTRITO DE RIEGO ALTO CHICAMOCHA. Colombia.

IGAC. (2017). Producción agropecuaria en los grandes Distritos de riego de Colombia ha sido improvisada: IGAC. Acceso el 22 de enero de 2020. Disponible en https://igac.gov.co/noticias/produccion-agropecuaria-en-los-grandes-distritos-de-riegode-colombia-ha-sido-improvisada

IGAC. Suelos de Boyacá no son tan productivos como se piensa: IGAC. Acceso el 22 de enero de 2020. Disponible en https://www.igac.gov.co/es/noticias/suelos-de-boyaca-no-son-tan-productivos-como-se-piensa-igac

IGAC (2017). Mapa Digital de Capacidad de Uso de las Tierras del Departamento de Boyacá, República de Colombia. Escala 1:100.000. Acceso el 22 de enero de 2020. Disponible en http://metadatos.igac.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/41ab0591-182b-41b3-8616-920907c419b3 Juan Perfetti, (2019). Adecuación de tierras y el desarrollo de la agricultura colombiana: políticas e instituciones. Bogotá.

Ríos del planeta. (2019). Río Chicamocha: mapa y todo lo que desconoce de él. Acceso el 22 de enero de 2020. Disponible en https://riosdelplaneta.com/rio-chicamocha/

Secretaria de agricultura. (2017). Distritos de riego de Cundinamarca. Acceso el 22 de enero de 2020. Disponible en http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeagricultura/Secagriculturadespliegue/asdesa rrollorural_contenidos/csecreagri_distritos-de-riego

Smart. La calidad del agua de riego. Acceso el 22 de enero de 2020. Disponible en https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality

USOCHICAMOCHA. Historia del Distrito de Riego. Acceso el 22 de enero de 2020. Disponible en https://usochicamocha.com.co/historia-del-distrito-de-riego/

2, 3 y 4 de Septiembre 2020
Bayern International
63° Congreso Internacional VIRTUAL
Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables
BID
BANCO MUNDIAL BIRF • AIF

CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS COMO SERVICIO AMBIENTAL. CASO DE ESTUDIO: PÁRAMO LA CORTADERA

Angela Viviana Moreno Sánchez[1*], Rosalina González Forero[1], Jairo Parra La Rotta[1], Rodrigo Ordoñez Noriega[1]Fabio Emilio Forero Ulloa[2], German Eduardo Cely Reyes[2], Laura Sofia Palacios Pacheco[2], Boris Galvis[1]

[1]Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad La Salle.
[2]Facultad Agronomía, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

*Autor Corresponsal: Programa de ingeniería ambiental y sanitaria, Universidad de La Salle, Carrera 2, Calle 10 – La Candelaria, Bogotá D.C, Colombia. Email: angelavmoreno56@unisalle.edu.co

Abstract

We present a case study of a method to quantify carbon capture, in the soil of La Cortadera moorland in Boyacá. The method has two stages. First, sampling to determine the physicochemical characteristics of the soil and second, the analysis of the relationship between organic matter, the function of carbon storage and ecological integrity in terms of its ability to provide environmental services such as water regulation, which is determined by the organic carbon content and its expression in terms of CO_2 equivalent. Moreover, we developed a geostatistical model to map the environmental functionality of the moorland as a CO_2 sink.

This work is part of a strategy for the conservation of the La Cortadera moorland in Boyacá. It was funded by Colciencias, through the research project “Elaboration of a protocol for the environmental, economic and legal valuation of the environmental service of carbon capture in moorland soils in the department of Boyacá: Case study of the La Cortadera moorland" being carried out between the Universidad de La Salle and the Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). It should be noted that the center of the moor has a higher concentration of capture because it has less anthropic influence.

KeyWords: Carbon capture, Environmental services, Organic material, Water regulation.

Captura y almacenamiento de carbono en suelos como servicio ambiental. Caso de estudio: Páramo La Cortadera

Resumen

El presente trabajo muestra un estudio de caso de captura y almacenamiento de carbono en suelos, como servicio ambiental en el páramo La Cortadera en Boyacá. La metodología utilizada se centra en dos etapas, la primera se trató del muestreo para determinar las características fisicoquímicas del suelo (70 muestras) y una segunda, que comprende el análisis de la relación entre la materia orgánica, la función de almacenamiento de carbono y la integridad ecológica en términos de su capacidad de proveer servicios ambientales como la regulación hídrica, el cual es determinado mediante el contenido de carbono orgánico y su expresión en términos de CO_2 equivalente. Además, se realizó un modelo geoestadístico para proyectar la funcionalidad ambiental de paramo como sumidero de CO_2 . Los resultados indicaron que en las zonas donde se presentan mayores concentraciones de materia orgánica en suelo hay mayor captura de CO_2 siendo la zona entre 15 – 30 cm de profundidad la que mayor almacenamiento tiene. Es de anotar que el centro del páramo presenta mayor concentración de captura debido a que tiene menos influencia antrópica.

El trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación “Elaboración de un protocolo para la valorización ambiental, económica y jurídica del servicio ambiental de captura de carbono en suelos de páramo en el departamento de Boyacá: Caso de estudio Páramo La Cortadera” que se realiza entre la Universidad de La Salle y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), como una estrategia para la conservación del páramo.

Palabras claves: Captura de carbono, Material orgánica, Regulación hídrica, Servicio ambiental.

Introducción

Uno de los ecosistemas de páramos más afectados en el departamento de Boyacá, de acuerdo con la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá) y la Fundación Ecosistema Colombia (2008), es el Páramo de La Cortadera, a causa de la fragmentación de la cobertura vegetal y extensas áreas de terreno que han sufrido drásticas alteraciones antrópicas al modificarse el uso del suelo, a pesar de que haya sido declarada área protegida. Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT (2003), el páramo es un ecosistema donde elementos como la vegetación, el suelo y el subsuelo, han desarrollado un gran potencial para interceptar, almacenar y regular el agua.

El páramo de La Cortadera es un importante regulador hídrico fundamentalmente para abastecer la represa La Copa, cuyas aguas son destinadas para las actividades agropecuarias para municipios como Paipa, Duitama, Tibasosa, Sogamoso, entre otros. Adicional a ello, funciona especialmente como sumidero de carbono, debido a que cuenta con características especiales como sus bajas temperaturas y bajas tasas de mineralización, permitiendo capturar carbono hasta tres veces más que la vegetación, debido a que su suelo cuenta con fijación neta como resultado del proceso de humificación, lo que hace de los suelos de páramo un servicio ambiental estratégico para los planes de mitigación y reducción de gases de efecto invernadero (Forero et al., 2015).

En esa medida, este estudio de caso se realiza en el marco del proyecto de investigación "Elaboración de un protocolo para la valorización ambiental, económica y jurídica del servicio ambiental de captura de carbono en suelos de páramo en el departamento de Boyacá: Caso de estudio Páramo La Cortadera" que se realiza entre la Universidad de La Salle y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), tiene como finalidad identificar las características del suelo de páramo para lograr estimar la captura de carbono en suelos del páramo y proyectarlos en un modelo estadístico que permita observar la distribución geoespacial de CO_2 en toda el área de influencia del páramo La Cortadera de Boyacá.

De acuerdo a lo anterior, esta ponencia presenta en la primera parte la descripción metodológica utilizada en el estudio del páramo La cortadera, desde el rastreo de antecedentes y el muestreo en campo. En un segundo momento se presentarán los resultados obtenidos de laboratorio para posteriormente realizar un análisis que permita estimar el CO_2 capturado y finalmente la muestra de un modelo geoestadístico elaborado en ArcMap y ArcGIS Pro con la herramienta interpolación kriging.

Metodología

La metodología propuesta para la presente investigación se fundamenta en 4 actividades principales:

Muestreo en campo: La metodología utilizada para muestreo fue basada en el manual técnico "Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales" de Rügnitz, Chacón y Porro (2009) sobre la medición de carbono en el suelo, en la que se tiene en cuenta las condiciones del área, el tipo de proyecto, y profundidad de muestreo recomendando una medición hasta los 30 cm, debido a que es el rango en que se encuentran mayores concentraciones de carbono orgánico del suelo.

Inicialmente en cada uno de los puntos de muestreo se realiza la geolocalización por medio de un dispositivo GPS, para posteriormente realizar la barrenada como método utilizado para describir el perfil del suelo e identificar los horizontes con la extracción de este. La recolección de muestras se lleva a cabo mediante la apertura de una cajuela de poco más

de 30 cm de profundidad, para Carbono Orgánico (CO) las muestras son recogidas de la pared de la cajuela a dos profundidades distinta en un rango de 0 – 15 cm y 15 – 30 cm ya que el cambio de uso del suelo ejerce el mayor efecto en las capas superiores (IPCC, 1996). Para determinar el contenido de carbono por unidad de volumen de suelo, es necesario conocer la densidad aparente (ρb) del suelo. Para esto se utiliza el método del cilindro de volumen conocido, el cual es descrito por MacDicken (1997) tomadas en los mismos dos rangos de profundidades de CO. En total se tomaron 70 muestras.

Análisis de laboratorio y resultados de materia orgánica y carbono orgánico en suelo:

Todas las muestras tomadas fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Para CO la metodología utilizada fue Walkley Black recomendado por el IGAC y la FAO. Para densidad aparente (ρb), el método del cilindro de volumen conocido. Para la determinación de carbono orgánico del suelo, se empleó la siguiente ecuación considerada como una de las más completas según (Gardi, C. 2014).

$$COS = C * \rho b * T * (1 - Frag) * 10 \qquad \textbf{Ecuación (1)}$$

Donde:

COS: contenido de carbono orgánico en el suelo

C: la concentración de carbono orgánico obtenido en el laboratorio

Pb: la densidad aparente (g/cm^3)

T: espesor de la capa del suelo (m)

Frag: contenido de fragmentos

Por último, 10 es un factor de conversión de unidades.

De acuerdo a la ecuación 1, la variable (C) es el carbono orgánico presente en la fracción de MO (Materia orgánica) medida en el laboratorio.

Determinación de CO_2 equivalente:

Para la conversión de COS a CO_2e (dióxido de carbono equivalente) se dividió el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono, por el peso específico del carbono (44/12), (Yepes et al., IDEAM, 2011), de esta manera es correcto afirmar que 1 tonelada de C equivale a 3,67 toneladas de CO_2. (Rügnitz, M. T. 2009). Según Africano, K. 2016 el COS es un parámetro que está relacionado con la capacidad que tiene un suelo para capturar o liberar CO_2.

Modelo geoestadístico:

Una vez obtenidos los datos de CO_2 capturado por el suelo y con la delimitación del páramo de La Cortadera-Boyacá se usó el programa ArcGIS 10.7.1 para aplicar el modelo geoestadístico interpolación Kriging para la elaboración del mapa edafológico del páramo de la Cortadera, donde se puede observar la estimación de la captura de CO_2 en toda la extensión del páramo. Posteriormente se analizan los resultados de captura de CO_2, verificando la respectiva acumulación de CO_2 en la fracción de MO en dicho lapso de tiempo.

Resultados y discusión

Según los datos obtenidos en el muestreo realizado y con el método de Rügnitz se determinó el CO_2 capturado por la fracción orgánica del suelo. En la figura 1 se observa la variación de CO_2 en ton/ha en los diferentes puntos muestreados del páramo.

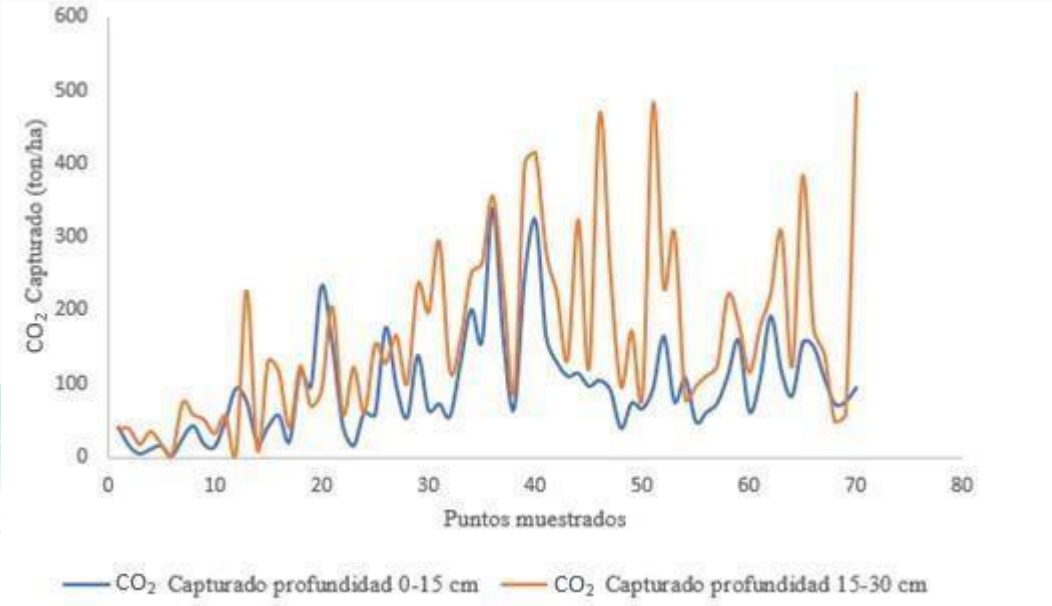


Figura 1. CO_2 capturado en ton/ha para cada punto muestreado.
Fuente: Este trabajo.

En la figura 1 se observan los valores obtenidos para los puntos de muestreo a una profundidad de 0-15 cm y 15-30 cm, donde se aprecia que los puntos de muestreo a la profundidad de 15-30 cm la cantidad de CO_2 capturado por el suelo es mucho mayor en términos de ton/ha que a una profundidad de 0-15 cm para el páramo de La Cortadera. Por lo tanto, concuerda que a mayor profundidad es mayor la reserva de carbono existente. Según Hernández, Tirado Torres and Beltrán Hernández, (2014) Se ha considerado a los suelos como un sumidero de carbono, debido a la capacidad que tienen para almacenar este elemento en forma orgánica (1500 Pg a 1 m de profundidad y 2456 Pg a 2 m de profundidad) e inorgánica (1700 Pg), la cual sobrepasa considerablemente la que presentan la vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg). Con los datos de la figura 1 se obtuvo un mapa geoespacial (Figura 2) utilizando el modelo geoestadístico de interpolación Kriging con el cual se puede ver la estimación del CO_2 capturado de la atmósfera y su distribución en toda el área delimitada del páramo de La cortadera, para las dos profundidades en las que se realizó el muestreo.

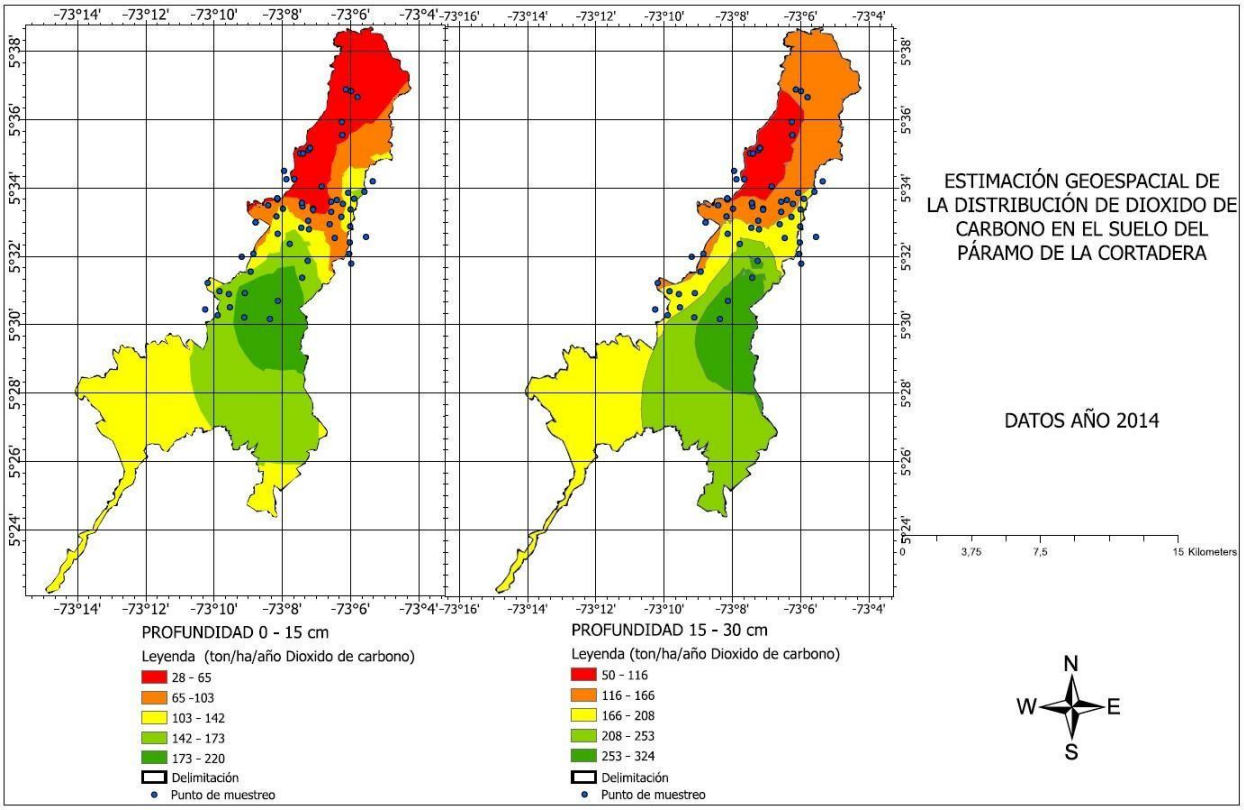


Figura 2. Distribución de CO_2 en el páramo de la cortadera.

Fuente. Elaboración propia.

Se puede interpretar que, al norte del páramo de La cortadera, el secuestro de CO_2 atmosférico es inferior en comparación a las demás zonas del páramo esto puede ser debido a que la fracción de materia orgánica en los puntos de muestreo en dicha zona de estudio fueron inferiores en comparación con los resultados obtenidos en el centro del páramo. Según la figura 2, en las dos profundidades el modelo geoestadístico utilizado mantiene su morfología. Los polígonos de coloración verde producto de la interpolación hacen alusión a que en estos lugares se encuentran las mayores concentraciones de materia orgánica que por consiguiente representa mayores concentraciones de carbono orgánico en el suelo. Posiblemente los valores más elevados de COS bajo vegetación natural se deban a la mayor protección de la superficie del suelo propiciada por el tipo de cobertura vegetal (Castañeda M. 2017). De acuerdo con lo anterior, es probable que en esta zona la cobertura vegetal sea nativa del páramo y no tenga actividades antrópicas asociadas ya que según la FAO 1996, la actividad humana influye directa y negativamente con los cambios del uso del suelo disminuyendo la actividad de los microrganismos y la producción de materia orgánica.

Haciendo uso de herramientas como lo es Google Earth Pro se pudo observar las diferentes altitudes presentes en el páramo y según lo reflejado en la figura 2 en la zona de color rojo es donde el páramo tiene más intervención del hombre, por lo cual, la capacidad de almacenamiento de CO_2 de estos suelos intervenidos por acciones antrópicas es menor, todo lo contrario, ocurre en altitudes altas donde la actividad del hombre sobre el suelo es poca y su potencial de almacenamiento mayor.

Conclusiones

Las mayores concentraciones de carbono orgánico se encuentran a una profundidad de 15 a 30 cm principalmente ubicadas en la zona central del páramo lo que permite inferir una poca intervención del hombre

Los cambios en el uso del suelo, la expansión de la frontera agrícola y ganadera hacia el páramo generadas por las acciones antrópicas influyen en la disminución de la fracción de la materia orgánica presente en el suelo repercutiendo de manera negativa en el potencial del suelo del páramo para fijar CO_2.

El presente estudio puede ser empleado como antecedente para futuros proyectos de formulación de estrategias de conservación y preservación del ecosistema de páramo como lo son la venta de bonos de carbono teniendo en cuenta estudios sobre la distribución vertical del carbono.

Referencias bibliográficas

Africano Pérez, K. L., Cely Reyes, G. E., Serrano Cely, P. A. (2016). Potencial de captura de CO asociado al componente edáfico en páramos Guantiva-La Rusia, departamento de Boyacá, Colombia.

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Muñiz Ugarte, O. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxembourg: Comisión Europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

Hernández, J., Tirado Torres, D., Beltrán Hernández, R. (2014). Captura de carbono en los suelos. PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI.

Forero Fabio., Cely German., Palacios Laura. (2015). Dinámica del páramo como espacio para la captura de carbono.

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja (UPTC), Colombia.

Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R (2009) Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Lima, Perú.: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).

Yepes A.P., Navarrete D.A., Duque A.J., Phillips J.F., Cabrera K.R., Álvarez, E., García, M.C., Ordoñez, M.F. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia.

DESARROLLO DE VISOR GEOGRÁFICO PARA LA VISUALIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE RAEES EN COLOMBIA

Autor: Kenny Pérez de Arco[1], Beatriz Elena Ortiz[2]

[1]Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Código postal 111941, Email: kennyperezdearco@gmail.com [2]Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Docente programa ingeniería ambiental y sanitaria.

ABSTRACT

This project is part of the first phase of the construction of the observatory of circular economy and innovation of Colombia (OECI), carried out at the University of La Salle (Bogotá, Colombia) and seeks to generate knowledge and inputs to society for the taking of decisions. Starting from this purpose, this work seeks to develop a geographical viewer that allows the analysis of the current state of the circular economy of the RAEES in the country, through a tool that allows decision making and visualization of the behavior of this waste. To carry out this object it was established as specific objects: Collect information on generation, transport, use and disposal of RAEES; Sort the information collected and finally analyze the information collected through a geographic viewer. For the development of the project, two phases are carried out, the first one consisting of a preliminary compilation and analysis of the information and the second one, the realization of the dashboard that allows the visualization of the information for later analysis. Among the preliminary results obtained, it could be seen that despite the fact that in all departments RAEES are generated, the Colombian Orinoquia and Amazon are the forgotten regions with respect to the management of this waste, it can be concluded that it is necessary to generate an order and homogeneity in the information on the part of the entities that supervise the process, to avoid falling redundancy and obviousness.

Keywords: Análisis, Circular economy, RAEES, Use.

DESARROLLO DE VISOR GEOGRÁFICO PARA LA VISUALIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE RAEES EN COLOMBIA

RESUMEN

El presente proyecto es parte de la primera fase de la construcción del observatorio de economía circular e innovación de Colombia (OECI), realizado en la Universidad de La Salle (Bogotá, Colombia) y busca generar conocimiento e insumos a la sociedad para la toma de decisiones. Partiendo de este propósito, este trabajo busca desarrollar un visor geográfico que permita el analisis del estado actual de la economía circular de los RAEES en el país, a través de una herramienta que permita la toma de decisiones y visualización del comportamiento estos residuos. Para llevar a cabo este objeto se estableció como objetos específicos: Recopilar información sobre generación, transporte, aprovechamiento y disposición de los RAEES; Clasificar la información recopilada y finalmente analizar la información recopilación a través de un visor geográfico. Para el desarrollo del proyecto se realizan dos fases la primera compuesta por compilación y análisis preliminar de la información y la segunda la realización del dashboard que permita la visualización de la información para su posterior análisis. Dentro de los resultados preliminares obtenidos se pudo apreciar que a pesar de que en todos los departamentos se generan RAEES, la Orinoquia y amazonia colombiana son las regiones olvidadas con respecto a la gestión de estos residuos, se puede concluir que es necesario generar un orden y homogeneidad en la información por parte de las entidades que supervisan el proceso, para evitar caer el redundancia y obviedades.

Palabras clave: Economía circular, RAEES, Aprovechamiento, análisis.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto es parte de la primera fase de la construcción del observatorio de economía circular e innovación de Colombia (OECI), realizado en la Universidad de La Salle (Bogotá, Colombia). Donde dentro de la información analizada del proyecto se busca apuntar a los objetos del OECI que son, generar conocimiento e insumos a la sociedad para la toma de decisiones, ser punto de referencia y centro de información en el ámbito académico y productivo, consolidar una plataforma de discusión para plantear ajustes a la normas técnicas, financieras y jurídicas que regulan el área y articular todos los programas (proyectos, investigaciones, etc) para dinamizar las líneas de innovación y emprendimiento sostenible.

La economía circular, busca la reducción de materias primas empleadas para la fabricación de productos sin afectar su calidad, además de disminuir la producción de residuos, en la fabricación, uso y disposición o eliminación de estos; por esa razón, actualmente se ha tornado tan valiosa su implementación y aún más con productos tecnológicos que se consumen con mayor celeridad al avanzar el tiempo y dejando como resultado un residuo con alto grado de complejidad en su manejo, por lo que este proyecto tomó como enfoque el estudio del comportamiento de la economía circular de RAEES (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) en Colombia.

Actualmente, el país cuenta con políticas que permiten líneas base para la gestión de RAEES como lo es el caso de la “Política ambiental para la gestión integral de los residuos o desechos peligrosos” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005), esto permitió el paso a programas posconsumo que al día de hoy se encuentran implementados en parte del territorio nacional que permite la gestión, aprovechamiento y disposición de este residuo, aunque haya falencias. De acuerdo con (MINAMBIENTE, 2020) en el año 2008 se dio inicio al “Proyecto Integrado de Reacondicionamiento y Reciclaje de RAEE en Colombia” cuyo objeto fue la apoyar la creación de un sistema de gestión nacional de RAEE; al año 2010 el ministerio de ambiente estableció la normatividad para la recolección de residuos de pilas, computadores, periféricos y bombillas fluorescentes, además de establecer que para el desarrollo de esta actividad se requiere de licenciamiento ambiental.

Para el año 2013, finalmente se aprueba la ley 1672 del 19 de julio de 2013 que tiene por objeto “Establecer los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y se dictan otras disposiciones”.

Sin embargo, a pesar que se haya avanzado normativamente, logísticamente existen problemáticas asociadas a este residuo, uno de estas problemáticas es que en el país no existe aún un mecanismo que permita el análisis de residuos con potencial de aprovechamiento, puntualmente RAEES, en el que se visualice de forma unificada y analizada la información que diariamente proviene de las diferentes actividades y sectores económicos, esto genera problemas de cobertura, costos de gestión mayores e ineficientes y uso ineficiente de recursos, entre otros.

Es por esta razón que este proyecto busca analizar el estado actual de la economía circular de los RAEES en el país, a través de una herramienta que permita la toma de decisiones y visualización del comportamiento de estos residuos, surtiendo para su cumplimiento tres objetos específicos, recopilar información sobre generación, transporte, aprovechamiento y disposición de los RAEES; Clasificar la información recopilada y finalmente analizarla empleando visores geográficos cuya ventaja es transmitir más fácilmente el resultado a los ciudadanos y de manera georreferenciada.

Lo anterior adquiere mucha más relevancia cuando se observan cifras de (MINAMBIENTE, 2020), el cual realizo proyecciones de la generación de RAEES, donde se encontró 192.480 TON en periodos comprendidos entre el 2012 y el 2018, pero, dentro de los resultados obtenidos para el 2012-2014 ya se habían recolectado y gestionado en el periodo 5.126 toneladas, lo interesante de esta cifra es que El 50% de los materiales recuperados por los gestores de RAEE se exportan a china.

Tomar decisiones políticas y económicas acertadas sobre el manejo integral de residuos en el territorio nacional es compleja y más aun cuando es de alta complejidad como lo son los RAEES, sin información de cómo es la dinámica de los residuos en Colombia, hablar del aprovechamiento de los mismos es “estar destinado al fracaso”; de hecho en el país de

acuerdo con (MINAMBIENTE, 2020) se generan 252.000 toneladas de RAEES/año, equivalente a 5,3 kg por habitante y para Bogotá solo se le da manejo al 6.37%.

A pesar que en Colombia se ha avanzado en la gestión de RAEES y en la formulación de políticas para su manejo, aun no se ha encontrado antecedentes donde se haya dado el paso de analizar la información que hasta el momento ha sido recolectado y almacenada, con excepción de casos aislados, para lugares o ciudades puntuales como el caso del autor (Valderrama, 2019) con la ciudad de Neiva o Yopal para el caso del autor (Sotelo, 2016) y Armenia (García, 2017) para tomar decisiones acertadas en pro de enmendar los errores que aún se cometen o falencias que se tienen.

METODOLOGÍA

Para la ejecución del proyecto se realizaron dos fases, la primera fue una compilación y análisis de la información y la segunda el desarrollo de los visores geográficos.

Para la primera fase se emplearon las bases de datos entregadas por (GRUPO RETORNA, 2019) (primer programa posconsumo de electrodomésticos en Colombia y adscrito a la ANDI- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia) y segundo se enriqueció el análisis con información tomada de living Atlas de ArcGIS (ESRI, 2019) de la cual se emplearon las capas Colombia Purchasing Power per Capita y censo del 2005, adicionalmente se empleó información de la superintendencia de servicios públicos, para conocer la generación total de residuos por departamento.

Las bases de datos fueron entregadas en Excel con un número total de 12529 Registros de los cuales 4040 Fueron registros históricos 2012-2017, después de su análisis, se logró una agrupación de la información por departamentos y años con un consolidado final de 251 registros, en el que se puede apreciar la cantidad de RAEES generados, el número de empresas que solicitaron la recolección y los gestores que participaron en este proceso; 8447 fueron registros del año 2018 de esta información se realizó la depuración y búsqueda de las coordenadas de 4041 empresas generadoras y se agrupo la información de generación de RAEES por gestor, finalmente 42 registros de licencias ambientales se georreferenciaron el número de licencias se agruparon en 11 registros por departamentos. Para la segunda fase se realizó un mapa con nueve capas que permitieron al dashboard una visualización de 8 tipos de información dinámica diferente y se realizó el análisis de la información. Para la ejecución de proyecto se contó con la asesoría de la docente Mayerling Sanabria Buitrago, en el espacio académico de SIG y sensores remotos y la docente Beatriz Elena Ortiz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Dentro de los resultados obtenidos se pudo apreciar que a pesar de que en todos los departamentos se generan RAEES, la Orinoquia y amazonia colombiana son las regiones olvidadas con respecto a la gestión de estos residuos sobre todos Vichada

y Vaupés y las ciudades que más concentran la gestión es Cali, Medellín y Bogotá, incluido en menor medida Popayán, Cundinamarca y Cartagena.

- Dentro de las licencias ambientales aprobadas a los gestores para el manejo de los RAEES, se comprobó que actualmente hay gestores que no cuentan con permiso para realizar actividades relacionadas con este residuo, complejizando el escenario en el país.
- Adicionalmente, se encontró que la información solicitada a los gestores sobre la ubicación de la empresa o los puntos de recolección es inexistente y los diferentes formatos para el manejo de la información no son homogéneos por lo que se tiende a repetir información e incluso generar confusión al realizar el análisis.
- Los residuos que recogen los gestores pueden ser acopiados por mucho tiempo hasta que finalmente se realiza una disposición, por lo que se debería solicitar a los gestores las fechas y cantidades que dispone el gestor, con la finalidad de generar mayor certeza sobre el movimiento de estos residuos en el país.
- En el desarrollo de este proyecto a sido necesario precisar que se debe articular la información del grupo retorna (información analizada) con la información del ministerio de ambiente y entidades regionales como la secretaria de ambiente.

CONCLUSIONES

- Dentro del trabajo adelantado hasta el momento es posible afirma que para poder tener una visión mucho más completa del comportamiento de estos residuos y poder realmente desarrollar políticas y tomar decisiones que no apunten a solucionar problemas de forma parcializada.
- Hasta el momento el proyecto ha permitido junto con integrantes del OECI, realizar retroalimentación a entidades como la ANDI, esperando dar lugar a mejoras en procesos logísticos de recolección, almacenamiento y disposición de los RAEES y recopilación de información.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

MINAMBIENTE. (2020). Ministerio de Ambiente. Obtenido de Gestion Integral de Residuos de Aparatos Electronicos: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/ e-book_rae_/contenido_1.html

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). Política ambiental para la gestión integral de los residuos o desechos peligrosos. Bogotá.

ESRI. (2019). Arcgis. Redlands, California, EEUU, Bogotá.

García, S. B. (2017). Diagnóstico y análisis de las condiciones mínimas necesarias para implementar una empresa de recolección y aprovechamiento de RAEES en Armenia:

equipos de informática y telecomunicaciones. X Encuentro departamental de Semilleros de Investigación. Quindío.

GRUPO RETORNA. (2019). Matriz 2012-2018. Bogotá.

Sotelo, Á. M. (2016). Análisis de la generación y disposición de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE'S domiciliarios en el municipio de Yopal (Casanare). Bogota.

Valderrama, C. F. (2019). Analysis of the generation of electrical and electronic device wastes. Case study in the Neiva city. Revista de Investigacion agraria y ambiental.

ANEXOS

2, 3 y 4 de Septiembre 2020
Bayern International
63° Congreso Internacional VIRTUAL
Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables
BID
BANCO MUNDIAL BIRF • AIF

PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DEL MÉTODO DE PIRÓLISIS POR MICROONDAS UTILIZANDO RETAMO ESPINOSO (*Ulex europeaus)* Y/O LISO (*Teline monspessulana)*, PARA ENMIENDA DE SUELOS. CASO DE ESTUDIO: FINCA "BARCELONA" CHOACHÍ - CUNDINAMARCA.

Laura Valentina Barragán Sanabria[1]*, Nathaly Juliana Castillo Valderrama[1], Yeferson Stiven Mendez Torres[1] Julio Cesar Ramírez Rodriguez[1].

[1] Universidad de La Salle-Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

**Autor corresponsal:* Departamento, Universidad de La Salle, Carrera 2 N 10 – 70 barrio La Candelaria 111711 Bogotá, Cundinamarca. Colombia. Email: lbarragan60@unisalle.edu.co- +57-3192359399

PRODUCTION OF BIOCHAR FROM THE METHOD OF PYROLYSIS BY MICROWAVES USING (*Ulex europeaus*) AND / OR (*Teline monspessulana*), FOR AMENDMENT OF SOILS. CASE STUDY: FARM "BARCELONA" CHOACHÍ - CUNDINAMARCA.

Abstract

The (Ulex europeaus) and (Teline monspessulana) is considered one of the hundred most aggressive invasive species in the world and among the ten with high risk of invasion for the country (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, s.f). Because of this, authorities such as ANLA require the eradication of the plant, taking appropriate measures to prevent the soil from being left without vegetation cover and generating erosive processes (Lowe S., Browne M., Boudjelas S., De Poorter M, 2000) ; but it must be taken into account that after its eradication, there should be use of the material, so in this work a process of microwave pyrolysis was proposed to obtain Biochar, in order to: 1) Generate biochar from of Retamo as an amendment for soils that present erosion problems, 2) Implement in an open pit mine the protocol for prevention and integral management of the species (Ulex europeaus) and / or (Teline monspessulana), 3) Establish the most appropriate experimental conditions for carrying out the biochar by microwave, 4) Evaluate the efficiency and potential of biochar obtained for the soil amendment, following NTC 5167. To evaluate the changes produced during a month of the application of the biochar to the soil, mixing it with the planting of plant species with properties to grow in stressful conditions and in eroded soils, such as radish and brachiaria grass, Physical chemical parameters such as pH, densities and organic matter were analyzed. The soil pH changed from acidic to alkaline, the density data decreased and there was an increase in the percentage of MO. Therefore, it is concluded that the biochar brought improvements to the quality of the eroded soil of the farm.

KeyWords: Ulex Europeaus, Teline monspessulana, pyrolysis, Biochar, soil,

RESUMEN

El Retamo espinoso (Ulex europeaus) y liso (Teline monspessulana) es considerada una de las cien especies invasoras más agresivas del mundo y entre las diez con alto riesgo de invasión para el país (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, s.f). Debido a esto, autoridades como el ANLA requieren la erradicación de la planta, tomando medidas pertinentes para evitar que el suelo quede sin cobertura vegetal y genere procesos erosivos (Lowe S., Browne M., Boudjelas S., De Poorter M, 2000); pero hay que tener en cuenta que después de su erradicación, debe haber aprovechamiento del material, por lo que en el presente trabajo se propuso un proceso de pirólisis por microondas para la obtención de Biochar, con el fin de: 1)Generar biochar a partir de Retamo como enmienda para suelos que presentan problemas de erosión, 2)Implementar en una mina a cielo abierto el protocolo de prevención y manejo integral de la especie Retamo espinoso (Ulex europeaus) y/o Retamo liso (Teline monspessulana), 3)Establecer las condiciones experimentales más apropiadas para llevar a cabo la obtención de biochar por microondas, 4)Evaluar la eficiencia y potencial de biochar obtenido para la enmienda de suelos, siguiendo la NTC 5167. Para evaluar los cambios producidos durante un mes de la aplicación del biochar al suelo, mezclándolo con la siembra de especies de plantas con propiedades para crecer en condiciones de estrés y en suelos erosionados, como el rábano y el pasto brachiaria, se analizaron parámetros físico químicos como: pH, densidades y materia orgánica. El pH del suelo pasó de ser ácido a alcalino, los datos de las densidades disminuyeron y tuvo un aumento en el porcentaje de MO. Por lo anterior se concluye que el biochar aportó mejoras a la calidad del suelo erosionado de la finca.

Palabras clave: Biochar, Enmienda, Pirólisis, Retamo Espinoso, Retamo Liso, suelo.

Introducción:

El retamo espinoso (Ulex europeaus) y/o liso (*Teline monspessulana*) es una planta invasora que ha sido clasificada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza como una de las cien peores especies invasoras del mundo, que se caracteriza por formar matorrales densos, compactos y homogéneos, generar efecto negativo sobre la fauna y la vegetación nativa e incrementar el riesgo de incendios, dada la producción de gran cantidad de biomasa. Una de las posibles alternativas de disponer el retamo espinoso es la obtención de biochar con la cual se puede aprovechar la biomasa de esta especie dando una opción de mejoramiento de las condiciones del suelo especialmente en suelos pobre en capa orgánica.

La obtención de biochar ha sido implementada en varios países del mundo como búsqueda a solucionar la pérdida de la fertilidad y la degradación del suelo, siendo estos un “fenómeno agravado por el cambio climático que perturba la producción de alimentos y afecta la disponibilidad de agua (deficiencia o exceso) causada por sequías extremas o lluvias torrenciales, o por temperaturas muy altas o muy bajas” (Funes y Monzote, 2001; Sánchez

et al., 2011). Para los objetivos de esta investigación son: evaluar el potencial de generación de biochar utilizando como materia prima el retamo espinoso y/o liso por el método de pirólisis lenta como medio de restauración de suelo erosionado de una finca del Municipio de Choachí,Cundinamarca; establecer las condiciones experimentales más apropiadas para llevar a cabo la obtención de biochar por microondas haciendo uso del retamo espinoso (*Ulex europeaus*) y/o Retamo liso (*Teline monspessulana*) y evaluar la eficiencia y potencial de biochar obtenido para la restauración de suelos.

Materiales y métodos

Para lograr el objetivo planteado se siguió la siguiente metodología, en la cual se determinaron las condiciones del suelo antes y después de la utilización del biochar y una metodología paralela con la cual se logró la obtención del biochar empleando la pirólisis con microondas.

1. **OBTENCIÓN DEL BIOCHAR:** El proceso de control, mitigación, erradicación y manejo de residuos post corte del retamo espinoso se realizó según la Resolución N° 0684 de 2018 del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo sostenible.

Figura 1. Aplicación de la metodología expuesta por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Para la preparación de Biochar por el método de microondas se siguió la metodología (Figura 2) del profesor Jairo Venegas del departamento de ciencias básicas de la Universidad de La Salle, impartida en varias tesis dirigidas por él.

Figura 2. Materiales y métodos utilizados para la elaboración del biochar

Figura 3. Obtención de biochar por pirolisis por microondas.

2. **MONTAJE PARA LA EVALUACION DEL BIOCHAR:** Inicialmente se realiza un montaje de propagación controlado en laboratorio para asegurarnos de que el biochar no generaría el esparcimiento o germinación de nuevas semillas de retamo.

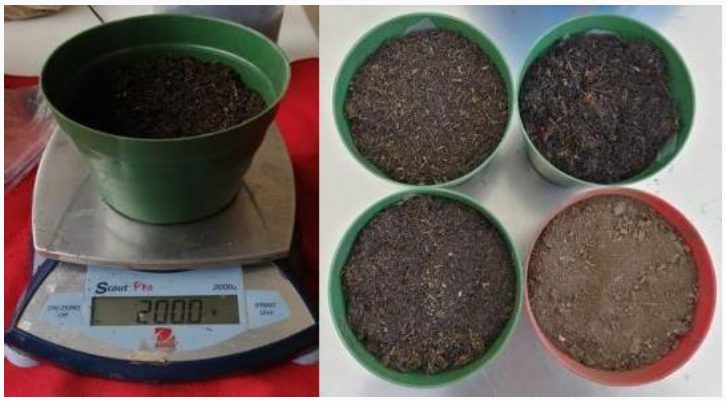


Figura 4. Montaje de control de propagación.

Cuando se comprobó que era segura su aplicación en suelo, se procedió a realizar 4 parcelas de 20x15x12 cm, en las cuales 2 se dejaron sin biochar y cada una se le plantó rábano y a otro pasto y lo mismo con las otras 2 parcelas, pero a estas últimas se le agregaron aproximadamente 200 g de biochar.

Figura 5. Montaje de 4 parcelas en la finca “Barcelona”

3. **SEGUIMIENTO:** Después del montaje, se realizó un seguimiento cada 8 días. Teniendo en cuenta el estado del pasto y el rábano como bioindicador.

Figura 6. Seguimiento del montaje.

Resultados y discusión

Para la caracterización del biochar obtenido, se tomaron varias muestras y se mandaran a analizar sus propiedades a un laboratorio certificado por el Ideam para este tipo de ensayos. Los resultados se presentan en la tabla 1.

REPORTE EN BASE HUMEDA			METODOS ANALITICOS
Densidad Aparente Seca	0.16	g/cm3	LBC 43 Gravimetría
pH en 10%	8.4		LBC 44 Potenciometría
C.E. en 1:200	0.14	dS/m	LBC 41 Potenciometría
Humedad	1.35	% P/P	NTC 35 Gravimetría
C.I.C	95.15	meq/100g	NTC 5167 Volumetría
Sodio Soluble	0.18	% P/P	NTC 1146 Emisión
C. Orgánico Oxidable Total	32.88	% P/P	NTC 5167 Walkey Black

Tabla 1. Resultados del análisis del biochar

Como ensayo preliminar se pesaron 13 g de retamo espinoso (peso seco) con diámetro de partícula de 2 mm y se llevaron al horno, después de aplicada esta metodología y dejando enfriar el biochar obtenido se pesó nuevamente obteniendo un peso de 9 g, con esto se determinó el rendimiento que fue de 75% confirmando lo expuesto por la literatura. Además, con el montaje de propagación se comprobó que el biochar elaborado a partir de retamo era seguro para la aplicación en el suelo como enmienda y que este no sufriría de propagación y crecimiento de nuevas semillas de retamo.

Se realizó un análisis físico químico inicial y final del suelo, para conocer en qué medida el suelo fue mejorando

Tabla 2. Análisis físico químico del suelo (Inicial).

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD
pH	5.42	
Densidad Aparente	1.93	g/cm^3
Densidad Real	12.34	g/cm^3
Carbono	0.1948	%
Materia Orgánica	0.0033	%

Para la caracterización final del suelo, se tomaron 4 muestras, 2 muestras de suelo con biochar (1 con plantación de pasto y 1 con plantación de rábano).

Tabla 3. Análisis físico químico inicial del suelo (final).

MUESTRA 1 (Pasto)		
PARAMETRO	**RESULTADO**	**UNIDAD**
pH	6.22	
Densidad Aparente	1.95	g/cm^3
Densidad Real	2.01	g/cm^3
Materia Orgánica	3.9	%
CIC	72.8	meq/100g
MUESTRA 2 (Rábano)		
pH	6.01	
Densidad Aparente	1.97	g/cm^3
Densidad Real	1.72	g/cm^3
Materia Orgánica	3.96	%
CIC	94.57	meq/100g

De manera visual es más notorio el mayor crecimiento de las plantas (rábano y pasto) en las parcelas donde se agregó biochar al suelo, mientras que en las parcelas usadas como blancos el crecimiento de las plantas fue mucho menor.

Conclusiones

Al analizar los datos obtenidos en la caracterización inicial del suelo y la caracterización después de aplicado el biochar se observa que los cambios producidos durante un mes de la aplicación del biochar al suelo fueron notorios. El pH del suelo pasó de ser ácido a alcalino, los datos de las densidades disminuyeron y tuvo un aumento en el porcentaje de MO. Por lo anterior se concluye que el biochar aportó mejoras a la calidad del suelo erosionado de la finca.

Referencias bibliográficas

Abenza, D. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Obtenido de http://ddd.uab. cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_202695/PFC_DanielPacoAbenza. pdf.

Escalante Rebolledo, A., G. Pérez López, C. Hidalgo Moreno, J. López Collado, J. Campo Alves, E. Valtierra Pacheco y J. D. Etchevers Barra. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. Terra Latinoamericana 34: 367-382. Tomado de: http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-0300367.pdf

Gómez, Leonardo Alonso, Cruz-Dominguez, Alejandra, Jiménez-Madrid, Deicy, Ocampo-Duran, Álvaro, & Parra-González, Sergio. (2016). BIOCHAR COMO ENMIENDA EN UN OXISOL Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE MAÍZ. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 19(2), 341-349. , from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000200011&lng=en&tlng=es.

Hernandez Morales, F y Piñeros Avendaño, E 2017. Evaluación del biochar producido por pirolisis lenta como medio absorbente de cinc, cobre, cromo y niquel . Tomado de: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20496/41121083_2017.pdf?sequence=1

Huang, Y. F., Chiueh, P. T., Shih, C. H., Lo, S. L., Sun, L., Zhong, Y., & Qiu, C. (2015). Microwave pyrolysis of rice straw to produce biochar as an adsorbent for CO2 capture. Energy, 84, 75-82. From https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544215001814

IDI.Iniciativa internacional del biocarbón. 2017. http://www.biocharinternational.org/biochar

Kanaujia PK, Sharma YK, Agrawal UC, Garg MO. 2013. Analytical approaches to characterizing pyrolysis oil from biomass. TrAC Trends in Analytical Chemistry 42: 125- 136.

Medina Orozco, L. E. e I. N. Medina Orozco. 2018. Prototipo autotérmico móvil para producción de biocarbón con biomasa de esquilmos de aguacate. Terra Latinoamericana 36: 121-129. Tomado de http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v36n2/2395-8030-tl-36-02-121.pdf

Olmo Prieto, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Tomado de: https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1

Resolución 0684. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Republica de Colombia, 25 de Abril de 2018.

ACREDITACIÓN CON LA NTC ISO/IEC 17025 DE UN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA POTABLE

Rodrigo Stivens Guevara Rodriguez[1], Jesús Alfonso Torres Ortega[1*]

[1] Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ingeniería. Universidad de La Salle
* Universidad de La Salle, Carrera 2 No. 10-70, Bogotá. 111711. Colombia. Email: jatorres@unisalle.edu.co

Abstract

Any company that provides public drinking water services must guarantee the quality and continuity of the supply of drinking water to its users; this is through the collection, processing, treatment, conduction, distribution, connection and measurement of water, as well as maintenance of networks, replacement and expansion of these. Currently, companies that provide this service must be accredits according to NTC ISO / IEC 17025: 2017. This standard establishes the general requirements for the competence of testing and calibration laboratories. The general objective of this work is to highlight the diagnosis that the laboratory of a drinking water treatment plant, through the guidelines established by the standard. For this, the identification of the general inventory of the company in structure, equipment and techniques must be done, design the tests of techniques, processes and activities that lead to reprocesses and implement a preliminary internal audit report of the laboratory. It is evident that some companies do not have a guide with the standards of NTC-ISO / IEC 17025 that allows the establishment of a maintenance program, verification and calibration of equipment, in addition to the operational records and related to the activities. This entails the completion of formats for the monitoring of the different processes, the calibration protocols and monitoring of the equipment that will be use in the laboratory of the treatment plant.

Key words: Aqueduct, drinking water, laboratory, quality policy, metrology.

Acreditación con la NTC ISO/IEC 17025 de un laboratorio de análisis de agua potable

Resumen

Toda empresa que brinde servicios públicos de agua potable debe garantizar la calidad y la continuidad del suministro de agua potable a sus usuarios, esto se hace mediante la recolección, procesamiento, tratamiento, conducción, distribución, conexión y medición de agua, así como el mantenimiento de redes, reemplazo y expansión de estos. Actualmente, las empresas que brindan este servicio deben estar acreditadas según la NTC ISO / IEC 17025: 2017. Esta norma establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de prueba y calibración. El objetivo general de este trabajo es resaltar el diagnóstico que el laboratorio de una planta de tratamiento de agua potable, a través de las pautas establecidas por la norma. Para ello, debe llevarse a cabo la identificación del inventario general de la empresa en estructura, equipo y técnicas; diseñar las pruebas de técnicas, procesos y actividades que conducen a reprocesos e implementar un informe preliminar de auditoría interna del laboratorio. Es evidente que algunas compañías no tienen una guía con los estándares de NTC-ISO / IEC 17025 que permite el establecimiento de un programa de mantenimiento, verificación y calibración de equipos, además de los registros operativos y relacionados con las actividades a realizar. Lo anterior conlleva el diligenciamiento de formatos para el seguimiento de los distintos procesos, los protocolos de calibración y monitoreo del equipo que se utilizará en el laboratorio de la planta de tratamiento.

Palabras clave: Acueducto, agua potable, laboratorio, metrología, política de calidad.

Introducción

En diciembre pasado se aprobó una resolución que permite a las empresas de acueducto y alcantarillado cobrarle al usuario una nueva tarifa por concepto de inversiones ambientales opcionales en consideración a que una de las principales falencias de los acueductos municipales es el manejo de la actualización y documentación de los procesos que en ellos se manejan, dado que se destinan pocos recursos y atención a esta parte que puede involucrar una infraestructura adecuada. Sin embargo, el director ejecutivo de la Comisión de Regulación de Agua (CRA), Diego Polanía, salió al paso indicando que esto permite que las empresas, las cuales brindan sus servicios a externos, sean confiables y aunque el nivel tarifario lo establece el prestador del servicio (la empresa de acueducto), la Comisión de Regulación de Agua solo dice la forma en que se deben incorporar las inversiones en la tarifa, como la compra de maquinaria o de unos terrenos (Polanía, 2020). Acompañando esta medida en Colombia se lanzó hace seis meses un plan de cobrar a los ciudadanos una tarifa mínima por el agua que consumen, monto que irá a proyectos de conservación de las cuencas hídricas, y cuenta con el apoyo de más de 40 actores del sector público y privado para proteger 15 cuencas del país que producen el 48 por ciento del PIB nacional, y de las que dependen el 43 por ciento de los colombianos (Vásquez, 2019).

La Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007) establece que la dotación básica de laboratorio para una planta de tratamiento de una empresa prestadora del servicio de agua potable debe contar como mínimo con la prueba de jarras, desinfección, turbiedad, color y pH. Con esto se garantiza que el producto, en este caso el agua para consumo humano, sea segura para la población atendida (Callejas e Izquierdo, 2009), así los laboratorios fisicoquímicos pueden ser reconocidos y competitivos con procesos que tengan metodologías que aseguren la calidad y generen un plus adicional para los clientes potenciales (ICONTEC, 2017). Las empresas prestadoras de servicios domiciliarios en las principales ciudades de la costa Caribe y sus zonas rurales están cambiando la percepción negativa que por mucho tiempo tuvo la ciudadanía de los servicios de acueducto, recolección de basuras, gas o de Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) (Peñas, 2019).

El laboratorio es un establecimiento público o privado donde se realizan los procedimientos de análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano, el cual debe cumplir con los requisitos previstos en el decreto 1575 de 2007 Ministerio de la Protección Social (9 de mayo de 2007), mediante la cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, y para hacer lo anteriormente mencionado se debe llevar acabo el diseño de la guía metodológica basándose en la norma asegurando que los parámetros establecidos sean confiables y verificables (Salamanca y Estepa, 2020). La acreditación de un laboratorio de análisis del agua para consumo humano se apoya en la metodología para el diagnóstico de los acueductos bajo la norma NTC ISO/IEC 17025 (ICONTEC, 2017), esta norma permite que la planta sea técnicamente competente y que cuente con los estándares necesarios para generar resultados válidos.

Generalidades

La norma NTC ISO/IEC 17025 (2017), es diseñada para los laboratorios de ensayo y calibración de equipos, cuando estos gestionan actividades que necesitan una estandarización y actividades de calidad, administraciones técnicas. El objetivo de esta norma es garantizar una competencia técnica y fiable de los resultados analíticos, también contiene requisitos de gestión para el desarrollo de las diferentes actividades presentes en un laboratorio, dando así un conocimiento interno del laboratorio y de sus trabajadores (Hernández y León, 2008). Esto se hace finalmente para poder obtener la acreditación del laboratorio reconociendo su competencia y capacidad técnica para llevar a cabo los diferentes análisis respectivos del laboratorio, en la tabla 1 se presenta la distribución y contenido de esta norma que además de los procesos de gestión, contempla los requisitos técnicos, de manera que pueda garantizarse la competencia técnica de los laboratorios, así como la validez de los resultados que emite. La norma incluye:

- Laboratorios de Ensayo: ensayos físico-químicos, ensayos microbiológicos, ensayos de compatibilidad electromagnética, ensayos sensoriales, etc.
- Laboratorios de Calibración, según los tipos de magnitudes que se calibran: dureza, dimensional, acústica, presión, masa, temperatura, etc.

Tabla 1. Estructura y contenidos de la ISO 17025.

Requisitos de gestión	Requisitos técnicos
4.1. Organización	5.1. Generalidades
4.2. Sistemas de Gestión de Calidad	5.2. Personal
4.3. Control de la Contaminación	5.3. Instalaciones y Cond. Ambientales
4.4. Revisión de Pedidos, Ofertas y Contratos	5.4. Métodos de Ensayos y Calibración y validación de métodos
4.5. Servicios de Subcontratación	5.5. Equipos
4.6. Compra de Servicios y Suministros	5.6. Trazabilidad de las medidas
4.7. Servicio al Cliente	5.7. Muestreo
4.8. Quejas	5.8. Manipulación de objetos de ensayo
4.9. Control de Ensayo no Conformes	5.9 Aseguramiento de la calidad
4.10. Mejora	5.10. Informe de Resultados
4.11. Acciones Correctivas	
4.12. Acciones Preventivas	
4.13. Control de Riesgo	
4.14. Auditorías Internas	
4.15. Revisión de la Dirección	

Inventario

Lo primero es realizar un diagnóstico general del estado actual del laboratorio respecto al cumplimiento de los requisitos de la norma ISO 17025, de esta forma saber que documentación es requerida y con que equipos se cuenta en inventario e identificación de los equipos, lo anterior permite trazar un plan de acción para cumplir los requisitos propuestos, ayuda en esta tarea elaborar una lista de chequeo. Para la realización del manual de mantenimiento y calibración de equipos se tiene en cuenta un formato elaborado con las instrucciones de la norma que incluye aspectos como los presentados en la tabla 2.

Tabla 2. Guía técnica del equipo.

Hoja de vida del equipo			
Nombre del equipo		No. Serie	
Modelo			
Ubicación			
Fecha de compra		Fecha puesta en servicio	
Proveedor		vida útil del equipo	
Calibración			
Función			
Responsable		Vo. Bo. Calidad	
Observaciones			

Este manual además de la operación de los equipos debe explicar y complementar aspectos de manipulación y limpieza de los equipos utilizados, los cuales por lo general son la nevera de recepción de muestras, conos de sedimentación imhoff, pipetas, turbidímetro 2100N, turbidímetro WTW, equipo de prueba de jarras, balanza digital, balanza tres brazos, fotómetro PF 12 plus, fotómetro PF 3, pH-metro y Espectrofotómetro DR 1900, entre otros.

Se debe contar con una base para la codificación de los equipos, que permita su fácil identificación y búsqueda de la información necesaria relacionada con el mismo, además de identificar su estado, relacionado con el funcionamiento o fuera de servicio, al igual que para los reactivos.

Registros

Se deben realizar los cambios respectivos y la actualización de los documentos que lo requieran para los equipos del laboratorio, anotaciones, manuales, protocolos los cuales deben ser inspeccionados periódicamente por el encargado en el laboratorio para su posterior aprobación por el área de calidad. Los protocolos deben estar recopilados en el archivador con código de formato, así mismo cualquier registro y las hojas de vida de los equipos (Rodríguez, 2018).

Mantenimiento

Es importante mantener actualizados los formatos para el mantenimiento preventivo de los equipos que incluya su calibración, ya el registro y evidencia física del laboratorio ante cualquier requerimiento para una verificación interna de funcionamiento de los equipos que sean de mayor importancia en el laboratorio para evitar que puedan alterar los resultados realizados en el laboratorio. Los instrumentos de mayor atención en un laboratorio de análisis de agua potable son: Turbidímetro 2100N, turbidímetro WTW, equipo prueba de jarras, balanza digital, balanza tres brazos, fotómetro PF 12 plus, fotómetro PF 3, pH-metro, espectrofotómetro DR 1900 (véase Figura 1).

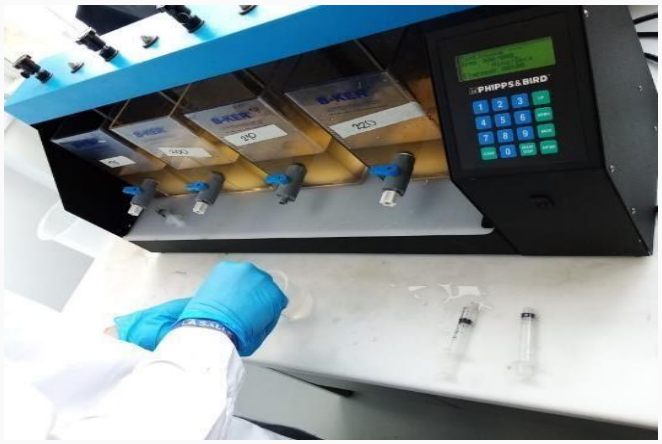


Figura 1. Imprescindible la realización del mantenimiento preventivo y periódico de los equipos.

Para garantizar la calidad de las mediciones hechas por cada equipo es recomendable hacer un seguimiento trimestral de cada uno, dicho proceso se realizará por un operario acompañado del supervisor, quienes al final firmaran el formato de mantenimiento de equipos. Las hojas de vida de equipos deben permanecer disponibles, puesto que guardan los formatos correspondientes al mantenimiento y la calibración de equipos, estas pueden diligenciarse en formato físico o digital para un fácil acceso.

Se elabora una ficha que se adjunta a las hojas de vida, para con esto, llevar un control y vigilancia frente al estado de los equipos, dicha ficha se deberá diligenciar cada vez que se haga manutención de los equipos, es aconsejable que este mantenimiento preventivo por equipo sea trimestral y al menos uno general de la planta cada semestre, el general se debe supervisar por la Dirección de Control Interno y de la Dirección Técnica, incorporando así otras departamentos de la empresa y así mantener un control interno de procesos.

Personal

Un documento debe presentar los lineamientos base donde se establezcan los responsables o el responsable directo de la manipulación, mantenimiento, verificación interna y calibración de cada uno de los equipos registrados. El personal debe responsabilizarse del diligenciamiento de los formatos de seguimiento y control, incluyendo acciones que comprendan la temperatura de la nevera, y uso de reactivos y el control de residuos peligrosos previo a la disposición fina (Castro y Ribero, 2015).

Cronograma

Se debe establecer un cronograma de mantenimiento preventivo y de calibración, de acuerdo con el estado del equipo y la frecuencia de uso de este. Se recomienda como en los casos anteriores que se realicen una vez trimestralmente para operaciones internas de laboratorio, y una vez semestralmente para operaciones generales, que incluye la participación de la Dirección de Control Interno y de la Dirección Técnica. El cronograma debe quedar como seguridad ante cualquier solicitud que realice el ciudadano para la comprobación de los resultados informados.

Acreditación de laboratorios ambientales en Colombia

Conforme con lo establecido en el artículo 17 de la ley 99 de 1993, “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”; el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, es el establecimiento público encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de planificación y ordenamiento del territorio. Corresponde a este Instituto efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos de la Nación, especialmente en lo referente a su contaminación y degradación necesario para la toma de decisiones de las Autoridades Ambientales (IDEAM, 2020).

Según lo dispuesto en el parágrafo 2° del artículo 2.2.8.9.1.5 del Decreto 1076 de 2015, "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible", en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental, se señala que los laboratorios que produzcan información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes, y los demás que produzcan información de carácter oficial relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, deberán poseer certificado de acreditación correspondiente otorgado por el IDEAM. De esta forma, si usted es un laboratorio del país que produce información de carácter o de interés ambiental, puede solicitar la acreditación de la competencia técnica para los ensayos que realiza en el IDEAM (IDEAM, 2020).

Conclusión

Se debe instituir la gestión de calidad en las actividades formuladas por el laboratorio del acueducto desde la toma de muestra del producto hasta su análisis, donde deben implementarse los requerimientos establecidos por la NTC-ISO/IEC 17025 como son: identificar los métodos y materiales empleados para cada el proceso de estudio de la muestra, su conservación, registros y la documentación. Cumplir la norma plenamente en estructura y contenido, conlleva una optimización en la calidad del servicio, mejoras en la capacidad técnica del personal a cargo, la trazabilidad y confiabilidad de los resultados, reduciendo las pérdidas económicas con el correcto funcionamiento de los equipos. Esta gestión debe contar con un espacio físico en el laboratorio y con un adecuado diseño de planta y equipos, permitiéndose mantener archivados todos los registros de formatos, protocolos, manuales y guías del laboratorio.

Bibliografía

Callejas, L., Izquierdo, J. (2009). Verificación del proceso de limpieza y desinfección de los laboratorios: agua y lodos, inmunología especializada y citometría de flujo, microbiología de alimentos y microbiología ambiental y de suelos (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Castro, P., Ribero, J. (2015). Propuesta para la implementación del sistema de gestión integrado ISO 9001:2008 e ISO 17025:2005 en el laboratorio de producción de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Tesis). Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, Colombia.

Hernández, V., León, L. (2008). Elaboración y actualización de los procedimientos operativos estándar no certificados por el ICA del laboratorio de microbiología ambiental y de suelos de la Pontificia Universidad Javeriana (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025 requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (2017). Colombia. 47

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM (2020) En: Contaminación y Calidad Ambiental. Recuperado de: http://ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/acreditacion?p_p_id=110_INSTANCE_GXqzEPyQBjNW&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=2&p_p_col_count=3&_110_INSTANCE_GXqzEPyQBjNW_struts_action=%2Fdocument_library_display%2Fview_file_entry&_110_INSTANCE_GXqzEPyQBjNW_fileEntryId=42519037

Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 2115 por medio de la cualse señalan características, instrumentos básicos y frecuencia del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. (2007). Colombia.

Ministerio De Salud y Protección Social. Decreto 780 por el medio el cual se expide el decreto único reglamentario del sector salud y protección social, titulo 3; articulo 1.1.3.4 comisión nacional intersectorial para la red nacional de laboratorios. (2006).Colombia.

Ministerio De Salud y Protección Social. Decreto 1575 por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. (2007). Colombia.

Peñas, M. (28 de agosto de 2019). La nueva cara de los servicios públicos. El tiempo. Recuperado de https://www.eltiempo.com/mas-contenido/la-nueva-cara-de-los- servicios-publicos-405528

Polanía, D. (13 de febrero de 2020). Tenemos 391 municipios en riesgo de desabastecimiento de agua. El tiempo. Recuperado de: https://www.eltiempo.com/politica/congreso/colombia-tiene-391-municipios-en-riesgo-dedesabastecimiento-461672

Rodríguez, J. (2008). Documentación de los requisitos de equipos de la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 para el laboratorio EMICAL Ltda. (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Salamanca A., Estepa M. (2020). Diagnóstico de un laboratorio de tratamiento de agua potable según lineamientos de la NTC ISO/IEC 17025:2017, caso de estudio: Empumelgar E.S.P. (Trabajo de grado). Universidad de La Salle. Bogotá Colombia.

Vásquez, C. (2019). Pagaríamos una cuota en el recibo para cuidar las cuencas hídricas. El tiempo. Recuperado de:

https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/el-estado-del-recurso-hidrico-en- colombia-435048

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA PARA LA CAPTACIÓN DEL AGUA ATMOSFÉRICA ACORDE A LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ

Danilo A. Hernández Peñuela[1*], Jhonathan Ramírez Bohórquez[1], Rolando Mendoza[1]

[1]Programa de Ingeniería Ambiental Universidad, de Cundinamarca extensión Facatativá
**Autor corresponsal:* Cundinamarca, Universidad de Cundinamarca, Calle 14 con Avenida 15 Barrio Berlín, Facatativá, Cundinamarca. 253051. Colombia. Email: danilo98hernandez@gmail.com

Abstract

The aim of this work was to determine the technical feasibility to obtain atmospheric water according to the weather conditions in Facatativá. The above is an alternative to population increases which generates limitation to access to drinking water. This problem is especially serious for vulnerable communities. Considering the above, it is important to develop new alternatives that allow to obtain and adequate supply of water resources. This work is framed within the Sustainable Development Goal 6, to guarantee the availability and sustainable management of water, in addition to SDG 3, 10, 11, 12 and 17. This work contemplated three phases: initially, the climatological data related with relative humidity and temperature in Facatativá were obtained from the IDEAM Villa Inés Station in the period between 2006 and 2016. With these data the maximum amount of condensable water per kilogram of air and operating ranges for the experimental setup were determined. The experimental setup consisted of a glass chamber connected to two Peltier cells and saturated air was fed into the chamber. A 2^4 factorial design where the factors were air inlet flow and temperature was performed. The relative humidity and temperature data of the exhaust air were obtained using electronic sensors. Finally, the interpretation of data and results of condensed water were used to calculate the process efficiency. This work demonstrates the technical feasibility to obtain water from humid air and proposes improvements for the establishment of future assemblies.

Keywords: Atmospheric Humidity, Atmospheric Water Collection, Condensation, Water Resource.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la viabilidad técnica para la obtención de agua atmosférica según las condiciones climatológicas de Facatativá. Lo anterior surge como alternativa al aumento en la densidad poblacional, lo cual genera limitación de acceso al recurso hídrico potable, lo cual provoca afectaciones a comunidades vulnerables. Considerando lo anterior, es relevante desarrollar nuevas alternativas que permitan la obtención y adecuado suministro del recurso hídrico, abordando consigo primordialmente el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, para garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua, además de los ODS 3,10,11, 12 y 17. Este trabajo contempló tres fases: inicialmente, se obtuvieron y analizaron los datos climatológicos de humedad relativa y temperatura de Facatativá aportados por la Estación Villa Inés del IDEAM del 2006 - 2016, calculando la cantidad máxima de agua condensable por kilogramo de aire y los rangos de operación para el montaje experimental. Dicho montaje estuvo conformado por una cámara de vidrio conectada a dos celdas de Peltier. Aire saturado fue alimentado a la cámara. Se realizó un diseño factorial 2^4 donde los factores fueron el flujo de entrada de aire y la temperatura. Los datos de humedad y temperatura del aire de salida se obtuvieron mediante sensores electrónicos. Finalmente, la interpretación de datos y resultados de agua obtenida fueron usados para calcular las eficiencias del proceso. Los resultados de este trabajo demuestran la factibilidad técnica de obtener agua a partir del aire húmedo y propone mejoras para el establecimiento de montajes futuros.

Palabras Clave: Captación de Agua Atmosférica, Condensación, Humedad Atmosférica, Recurso Hídrico.

Introducción

Las investigaciones sobre el aprovechamiento de la humedad atmosférica surgieron a principios del siglo XX, con estudios de potencial de agua colectada en Sudáfrica (Cereceda *et al.*, 2014). En el siglo XXI, la humedad atmosférica es una alternativa no convencional de aprovechamiento, dada la sobrepoblación, cantidad y calidad del recurso que aumenta la inequidad en la distribución del agua. Colombia cuenta con una gran riqueza hídrica, no obstante, el acceso al agua potable en algunas regiones es escaso, adicionalmente la manifestación del Fenómeno del Niño intenso y prolongado ha afectado a diversos municipios, como Facatativá con un desabastecimiento aproximado del 77% y declarando alerta roja en el año 2015 (Noguera, 2015).

En este trabajo se realizó un montaje experimental basado teóricamente en el Efecto Peltier, que consiste en el tránsito de una corriente eléctrica a través de un circuito conformado por dos materiales semiconductores donde las uniones de estos se encuentran a la misma T °, produciendo un efecto termoeléctrico y una de las uniones absorbe calor y la otra desprende (Blancarte, 2001) para que se produzca el fenómeno de condensación del aire atmosférico.

A través de este trabajo se contribuye fundamentalmente al cumplimiento del Sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible, constituyéndose en un aporte para garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. El objetivo de este trabajo fue establecer la viabilidad técnica para la captación de agua atmosférica en el municipio de Facatativá a través del enfriamiento a una temperatura inferior al punto de rocío del aire húmedo mediante el uso de unas celdas de Peltier.

Materiales y Metodología

Selección de Datos Climatológicos:

Inicialmente se recopilaron datos climatológicos de temperaturas y humedad relativa máxima, media y mínima mensual del periodo 2006 - 20016 pertenecientes a la Estación Meteorológica Villa Inés del IDEAM con Núm. 21205940, ubicada en la Vereda Los Manzanos en Facatativá y cuyas coordenadas son 4°50'05.9"N y 74°23'02.3"W a una elevación de 2590 msnm, actualmente en funcionamiento e instalada desde 1977.

Recopilados los datos climatológicos, se hizo un tratamiento para generar la cobertura de los datos de temperatura y humedad relativa vacíos en el periodo ya mencionado. El tratamiento se hizo mediante el Método de Lagrange (Ecuación 1). Finalmente se seleccionaron los promedios mensuales como base para las condiciones del montaje experimental como se ve en la Tabla 1.

$$F_1(x)=\frac{x-x_1}{x_0-x_1}\cdot F(x_0)+\frac{x-x_0}{x_1-x_0}\cdot F(x_1)$$ **Ecuación (1)**

Dónde: $F_1(x)$: Año del dato faltante, x: Dato Faltante, x_1: Dato Posterior
x_0: Dato Anterior, $F(x_0)$: Año anterior, $F(x_1)$: Año Posterior

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
HUMEDAD RELATIVA (%)	MAX	90	90	91	91	92	89	91	88	89	92	92	92	91
	MED	86.7	86.6	88.2	88.7	89.1	87.0	87.0	86.7	83.8	87.5	89.6	86.0	87
	MIN	82	82	86	87	86	85	84	84	79	85	86	77	84
TEMPERATURA (°C)	MAX	20.7	20.4	20.7	20.9	20.2	20.5	19.7	20.1	20.2	20.1	19.9	20.6	20.3
	MED	12.6	12.7	13.2	13.3	13.5	13.1	12.7	12.6	12.9	12.7	13.1	12.7	12.9
	MIN	1.3	2.2	2.5	4.5	4.6	4.1	3.1	2.7	2.6	2.7	4.3	1.8	3.0

Tabla 1. Obtención de promedios mínimos, medios y máximos de temperatura y humedad relativa.

Montaje a Escala Laboratorio:

El montaje a escala laboratorio estuvo conformado por dos secciones: instrumental y electrónica. La primera comprende los implementos que controlan las variables en la experimentación y la segunda realiza la toma, almacenamiento y tratamiento de datos durante de las corridas de laboratorio como se ilustra en la Figura 1.

El montaje posee una línea de flujo de aire seco moderada por un controlador de flujo, este se dirige al humidificador, donde se satura con un burbujeador, posteriormente pasa por la cámara de condensación en donde están conectadas dos celdas de Peltier y finalmente a la cámara de medición donde se obtienen de manera electrónica los datos de temperatura y humedad relativa del aire de salida. Los datos finalmente son recopilados en un computador.

Experimento

Se realizó un diseño factorial 2^4 donde los factores fueron el flujo de entrada de aire y la temperatura. El flujo de aire se controló con un controlador de flujo de aire de 0mL/min a 500 mL/min marca Aalborg. La temperatura del aire fue controlada mediante el enfriamiento del agua del humidificador a través de un baño termostatado de circulación forzada.

MONTAJE DE LABORATORIO
Fuente de poder de 110V y 1A
Sensores de Temperatura (DS18B20) Humedad - Temperatura (DHT22)
Cámara de condensación (C1)
Cámara de medición (C2)
Celdas Peltier (TEC1-12730) a 5V
Disipadores de calor
Ventilador
Regleta eléctrica y Protoboard
Arduino Uno
Humidificador
Baño enfriador tipo chiller
Controlador de Flujo
Controlador de Flujo Másico

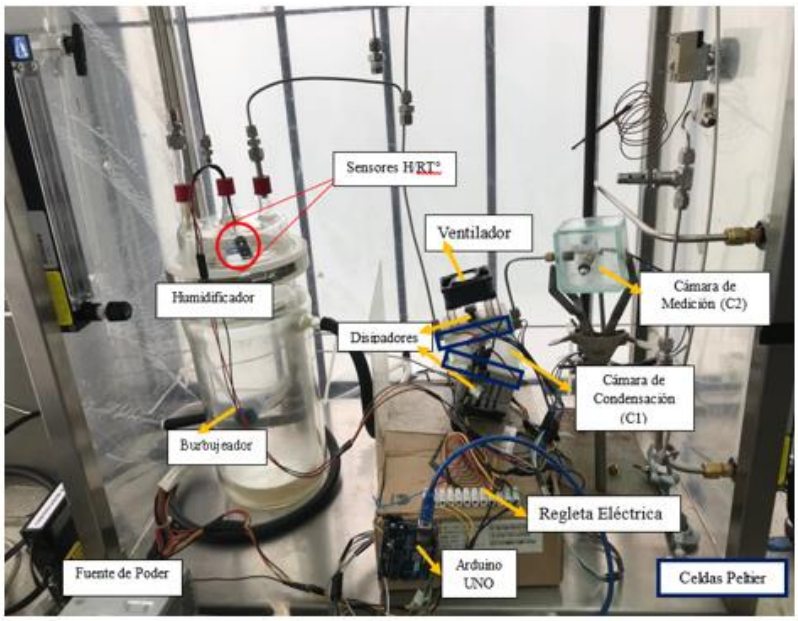


Figura 1. Estructura del Montaje Experimental.

Cálculo de Eficiencias:

El cálculo de eficiencias requirió una serie de ecuaciones para su hallazgo, primero se calculó la fracción másica de aire húmedo (X_{AH}), a través de la Ecuación 1 y donde se identifica la cantidad de agua recolectada en 1 Kg de Aire Húmedo.

Posteriormente establecido el Balance de Materia (Ecuación 2) se calculó la Eficiencia de Condensación mediante la Ecuación 3 y a partir del Balance de Energía del sistema (Ecuación 4), se calculó la Eficiencia Calorífica con la Ecuación 5.

$$X_{AH}=\frac{y_s}{y_s+1} \quad \textbf{Ecuación (2)}$$

Dónde: X_{AH}: Fracción Másica de Aire Húmedo
y_s: Humedad de saturación

$$\dot{m}_E = \dot{m}_S + \dot{m}_C \quad \textbf{Ecuación (3)}$$

$$\%\ \text{Eficiencia}=\frac{\dot{m}_C}{\dot{m}_E} \quad \textbf{Ecuación (4)}$$

Dónde: $\dot{m}_E$: Flujo Másico de Entrada $\dot{m}_S$: Flujo Másico de Salida $\dot{m}_C$: Flujo Másico Condensado

$$\dot{Q}_E = \dot{Q}_S + \dot{Q}_\lambda + \dot{Q}_p \quad \textbf{Ecuación (5)}$$

$$\%\ \text{Eficiencia}=\frac{\dot{Q}_\lambda}{\dot{Q}_E} \quad \textbf{Ecuación (6)}$$

Dónde: Q_E: Flujo de Calor de Entrada Q_S: Flujo de Calor Sensible Q_λ: Flujo de Calor Latente
Q_P: Flujo de Calor de Perdidas

Resultados y Discusión

Cantidad Teórica de Agua Condensada:

Con los datos seleccionados de la Estación Villa Inés (Tabla 1), se calculó la Fracción Másica de Aire Húmedo (Figura 2). Este valor se constituye en la cantidad máxima posible de agua condensada. Se puede apreciar en la Figura 2 que con las condiciones más altas de Humedad Relativa del 90.6% y Temperatura de 20.3°C habrá cerca de 0.0018 Kg Agua/Kg de Aire Húmedo, potencialmente aprovechables para su posterior saturación y condensación.

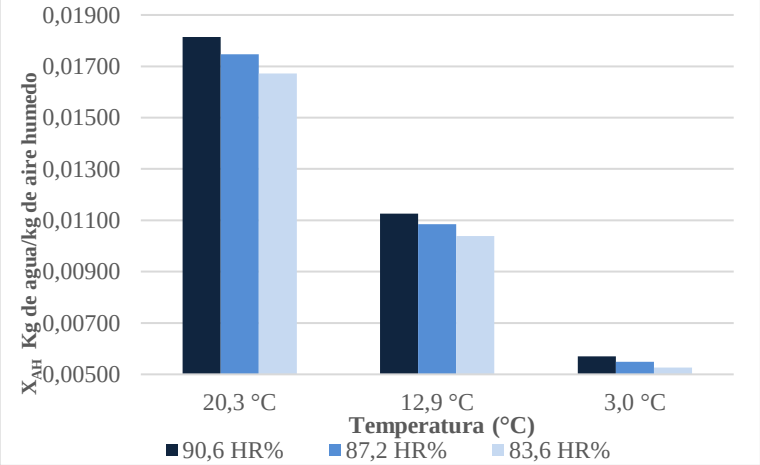


Figura 2. Cálculo de cantidad teórica de agua condensada bajo condiciones óptimas de operación.

Recopilación y Análisis de Datos Experimentales:

Realizados los ensayos de laboratorio, se evidenció que con mayores temperaturas iniciales se genera condensación, debido a que la disminución de temperatura en la cámara de condensación por acción de las celdas de Peltier logra la saturación del aire. A partir de esto, se seleccionaron los datos obtenidos con las temperaturas más altas.

En la Figura 3, se observa el comportamiento de la fracción másica de agua en ensayos a temperaturas iniciales máximas, donde el humidificador permaneció saturado (Temperatura y X_{AH}), mientras que en la cámara de condensación hay una relación inversa entre la temperatura que disminuye y X_{AH} que aumenta hasta la constante del humidificador reflejando condiciones saturadas y produciendo el fenómeno de condensación (Tomillero *et al.*, 2015) que se evidencia a través del área entre la cámara de condensación y cámara de medición en la segunda intersección.

Aunque en el inciso A de la Figura 3, se refleja un comportamiento inusual respecto al de los incisos B, C y D de la misma Figura, hubo un flujo másico condensado en el balance de materia, por lo que se asume una condensación superficial donde el aire entrante tuvo contacto con las caras frías de las Celdas Peltier y se produjo una reducción de temperatura hasta el punto de rocío (Martínez *et al.*, 2005).

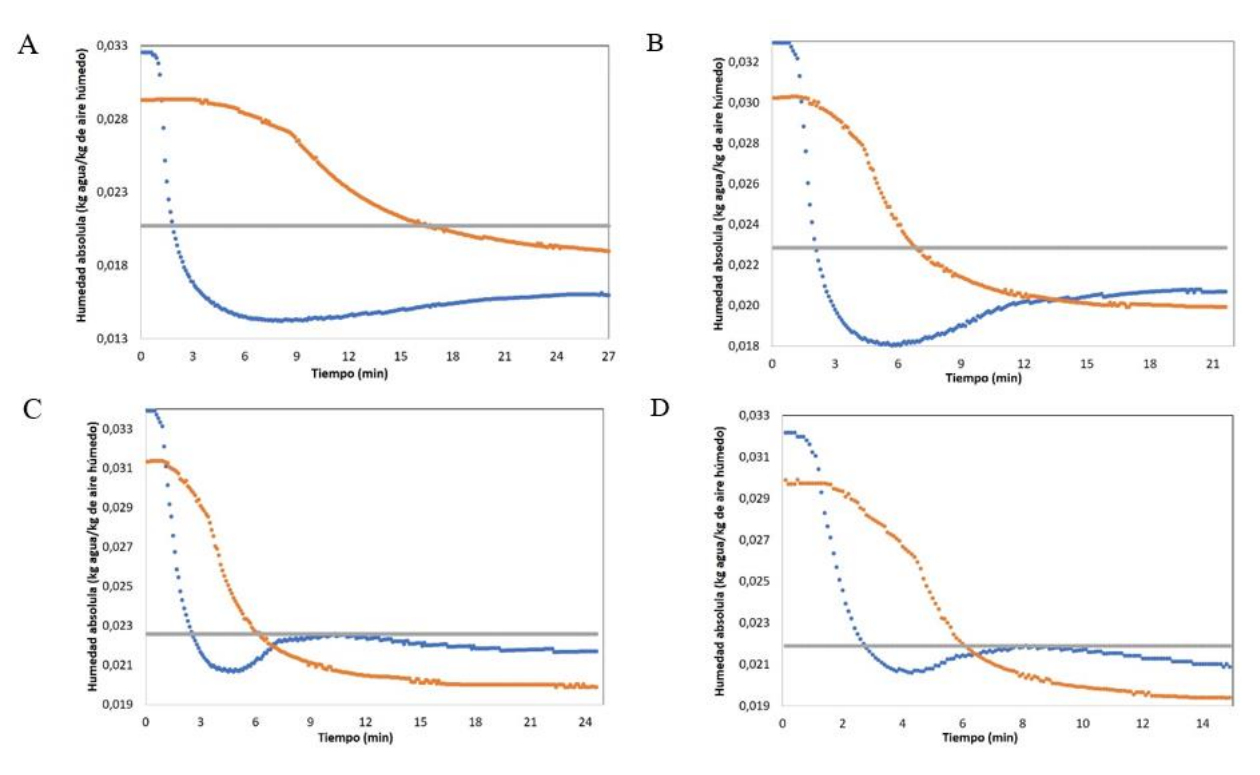


Figura 3. Comportamiento de X_{AH} a temperaturas máximas de: (A) 21°C, (B) 22.6°C, (C) 22.4°C y (D) 21.9°C. Las líneas azules son los datos tomados en la cámara con las celdas de Peltier, los puntos naranjas son los datos tomados en la cámara de adquisición de datos y la línea gris corresponde al humidificador

Eficiencias de Condensación y Caloríficas:

Los resultados de eficiencia calorífica que se observa en la Figura 4, establecen que la primera está dada por la energía eléctrica necesaria para la operación de las Celdas Peltier que extraen calor del interior de la cámara de condensación, formando un ambiente de saturación, por tanto, el rendimiento de las Celdas Peltier se puede controlar por medio de la potencia impuesta (Mardini *et al.*, 2019). De manera que, el voltaje y amperaje inducidos al sistema (Ver Tabla 1), pueden mejorarse con la incorporación de un regulador de intensidad.

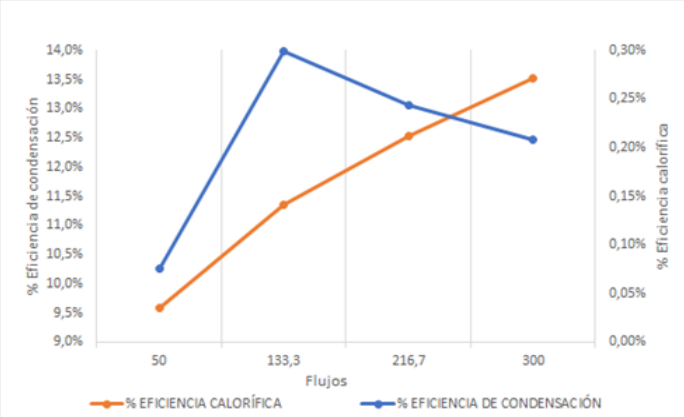


Figura 4. Relación de las eficiencias caloríficas y de condensación en ensayos con temperaturas máximas.

La eficiencia de condensación fue relativamente alta (Figura 4), sin embargo, se generó un decaimiento, debido al aumento de la temperatura ambiente, causado por el calor disipado de las Celdas Peltier al ambiente exterior, que entra en contacto con las paredes de vidrio de la cámara de condensación, afectando la temperatura interna y reduciendo la eficiencia de las Celdas y de condensación.

Es posible que haya existido una estratificación térmica en la cámara de condensación debido a que por los lados fríos de la Celda Peltier pudieron generarse estratos de aire frío. Estratos de aire más caliente pudieron existir a medida que se aleja de las paredes frías de las celdas (Waluyo y Majid, 2010). Dicha estratificación pudo promover las bajas eficiencias obtenidas durante el proceso de condensación debido a que se generan resistencias a la transferencia de calor. Lo anterior puede mejorarse mediante una mejor disposición geométrica de la cámara como por ejemplo disminuir la distancia entre las celdas o el uso de deflectores.

Conclusiones:

Las condiciones climatológicas de Facatativá con temperaturas entre 5°C Y 20°C y humedad relativa que típicamente se mantiene por encima del 80%, son aptas para la obtención de agua a partir de la humedad del aire atmosférico, ya que con una disminución de 4°C se puede llegar al punto de roció que daría paso al proceso de condensación del agua. En este sentido, se podría desarrollar un prototipo enfocado en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua.

La viabilidad técnica de captación de agua atmosférica dada la temperatura y humedad relativa de Facatativá es posible, ya que, estas condiciones climatológicas que presenta el municipio facilitan el proceso saturación del vapor de agua del ambiente y por ende la captación de agua, es así, que a pesar de que la eficiencia de condensación máxima fue de 14%, al implementar procesos de mejora, se podrían desarrollar métodos no convencionales de captación de agua como herramientas para un impacto en el desarrollo social, ambiental y económico dentro del municipio.

Agradecimientos:

Este trabajo ha sido realizado por medio del Convenio entre la Universidad de Cundinamarca y la Universidad Nacional de Colombia, además del aporte financiero y de espacios por el Laboratorio de Poscosecha de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNAL.

Referencias Bibliográficas:

Blancarte, W. (2001). *Efecto Peltier*. *ITESO - Universidad Jesuita en Guadalajara*. Guadalajara, México. Acceso el 16 de Abril de 2020, disponible en: http://descargas.cetronic.es/EstudioPeltier.pdf

Cereceda, P., Leiva, J., Rivera, J. de D., Hernández, P. (2014). Agua de Niebla: Nuevas Tecnologías para el Desarrollo sustentable en Zonas Áridas y Semiáridas. Acceso el 30 de Enero de 2020, disponible en: Recuperado de http://www.cda.uc.cl/wp-content/uploads/2015/12/Libro-Agua-de-Niebla-1.pdf

Mardini, J., Torres, G., Sabau, M., De-La-hoz-Franco, E., Niño-Moreno, J., Pacheco, P. J. (2019). A review to refrigeration with thermoelectric energy based on the peltier effect. *Revista DYNA*, **86**(208), 9–18. https://doi.org/10.15446/DYNA.V86N208.72589

Martínez, P., Sarmiento, P., Urquieta, W. (2005). Evaluación de la humedad por condensación al interior de viviendas sociales. *Revista INVI*, **20**(055), 154–165. https://doi.org/10.4067/invi.v20i55.323

Noguera, S. (2015, Noviembre 24). *Facatativá, en alerta roja por falta de agua*. 1–7. Acceso el 02 de Febrero de 2020, disponible en: https://www.elespectador.com/noticias/bogota/facatativa-alerta-roja-falta-de-agua-articulo-601156

Tomillero, M., Rodríguez, F., Sánchez-Molina, J., Hernández, J., López, J. (2015). *Evaluación de un sistema de des humificación por condensación en un invernadero del sudeste español* (pp. 1–5). Departamento de Informática, Universidad de Almería.

Waluyo, J., & Majid, M. A. A. (2010). Temperature profile and thermocline thickness evaluation of a stratified thermal energy storage tank. *International Journal of Mechanical and Mechanics Engineering*, **10**(1), 7–12. Acceso el 15 de Abril de2020, disponible en: http://ijens.org/108601-2424 IJMME-IJENS.pdf+

SISTEMA DESCENTRALIZADO DE DESALINIZACIÓN DE AGUA BASADO EN ENERGÍA SOLAR PARAGENERAR VOLÚMENES DE AGUA SEGURA EN LA COMUNIDAD INDÍGENA DE *PARENSKAT* LA GUAJIRA.

J. F. Aguilar[1*], N. A. Mancipe, PhD[2]

[1, 2] Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá D.C., Facultad de Ingeniería, Programa Maestría en Ingeniería – Recursos Hidráulicos.

[*] Autor corresponsal: Cundinamarca. Av. NQS (Carrera 30) # 45-03, Laboratorio de ensayos Hidráulica, oficina 203. Bogotá D.C., País. Colombia. Correo electrónico: jhaguilara@unal.edu.co.

Abstract

This document presents the results of the technical feasibility assessment for a solar based water desalination decentralized system that produces a safe water volumen. The project is developed in the following stages: [1]a conceptual design of a desalination prototype based on technical and social conditions for the Parenskat community (Manaure´s municipality rural área), [2] a mathematical simulation under the Simulink Matlab platform, [3] the construction and startup of the desalination equipment under a pilot test and [4] the technical evaluation of the system using a judgment assessment methodology called Analytic Hierarchy Process (AHP). During the pilot test, different samples of raw and treated water were collected in order to analyze the physical, chemical and bacteriological properties of the water. These samples were rated under resolution 2115 of 2007 to obtain the theoretical risk level for desalinated water and to compare the effectiveness of the decentralized system under real field conditions. The pilot test showed that the prototype is capable of producing a volume of desalinated water of 6.5 L / día and reduce the average concentration of Chlorides from 33,253.84 mg / L to
33.78 mg / L Cl- in average. Likewise, it is safe to asume that the implementation and manufacture of the solarbased water desalination decentralized system can efficiently and economical produce a safe water volumen inthe médium tern using constructive national materials.

Keywords: Chlorides, desalination, passive desalination plant, solar radiation.

Resumen

Este documento presenta los resultados de un estudio de factibilidad técnica de un sistema descentralizado de desalinización de agua basado en energía solar que permite obtener un volumen de agua segura. El desarrollo del proyecto conto con las siguientes etapas: [1] un diseño conceptual de un prototipo desalinizador en función de algunas condiciones técnico sociales propias la comunidad de *Parenskat* (zona rural del municipio de Manaure), [2] una simulación matemáticamente bajo la plataforma de Simulink Matlab, [3] la construcción y puesta en marcha del equipo desalinizador bajo una prueba piloto y [4] la evaluación técnica del sistema mediante una metodología de valoración de juicios llamada *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Durante la prueba piloto se recolectaron diferentes muestras de agua cruda y tratada con el fin de analizar las propiedades físico químicas y bacteriológicas del agua. Estas muestras fueron calificadas bajo la resolución 2115 del año 2007 para obtener el nivel de riesgo teórico para el agua desalinizada y comparar la efectividad del sistema descentralizado bajo condiciones reales de campo. La prueba piloto evidenció que el prototipo construido tiene la capacidad de producir un volumen de agua desalinizada de 6.5 L/día y reducir la concentración promedio de Cloruros de 33,253.84 mg/L a 33.78 mg/L de Cl^-. Así mismo, se logró establecer que la implementación y fabricación del sistema descentralizado de desalinización de agua basado en energía solar puede generar volúmenes de agua segura de una forma eficaz y económica a mediano plazo con la implementación de materiales de orden nacional.

Palabras clave: Cloruros, desalinización, desalinizador pasivo, radiación solar.

Introducción

En el mundo existen 2.1 billones de personas que no cuentan con acceso de agua potable (OMS/UNICEF 2017), de las cuales 34 millones se encuentran en América Latina y el Caribe (LAC). Para el año 2012 uno de los informes del programa agua de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) indicó que las constantes crisis a nivel mundial asociadas a: El cambio climático, energía, seguridad alimentaria, recesión económica, migraciones masivas, pérdida de biodiversidad y las constantes turbulencias financieras están íntimamente concatenadas y tienen un alto impacto sobre el recurso hídrico. Colombia miembro de la Región LAC, no se ausenta de una posible escasez del recurso hídrico y de las diferentes crisis derivadas de la variabilidad climática y otras mencionadas por la ONU en el año 2012.

Actualmente en Colombia existen un número de subzonas donde la demanda del agua supera la oferta, ocasionando que en épocas del año se tenga un desabastecimiento de agua potable, debido a la carencia de infraestructura y/o a la falta de fuentes naturales que permitan captar agua para un suministro adecuado (ENA, 2018). Un ejemplo de esta problemática lo tiene el departamento de La Guajira en donde desafortunadamente la sequía, hambruna y la mortalidad de miembros de la etnia indígena Wayúu, principalmente menores de edad desencadeno una emergencia humanitaria, debido al déficit de atención estatal y principalmente a la carencia del recurso hídrico. Llegando al punto en donde la Corte Interamericana de los Derechos Humanos (CIDH) emitió, declaro y extendió en dos ocasiones medidas cautelares a favor de las comunidades indígenas Wayúu (2015, 2017 – MC 51/15 CIDH), como una herramienta de mitigación y atención inmediata a las problemáticas que se presentan en esta zona del país, entre ellas el acceso a una cantidad y calidad de agua adecuada y digna.

De acuerdo con lo anterior y ante la necesidad de generar un aporte teórico – experimental que contribuya al derecho indisoluble de un suministro de agua en las comunidades indígenas Wayúu, se planteó la pregunta:

¿Sera posible que un sistema de desalinización descentralizado de agua salada basado exclusivamente en energía solar, pueda proveer una solución técnica viable para la obtención de un volumen mínimo vital de agua para una familia indígena ubicada en La Guajira?

Para contestar este interrogante, el presente documento presenta los resultados de la evaluación de factibilidad técnica de un sistema descentralizado de desalinización de agua basado únicamente en energía solar que permita obtener un volumen de agua segura para una comunidad indígena en La Guajira, que para este caso fue la comunidad de *Paresnkat* que se ubica en la zona rural de Manaure.

Conceptos preliminares

Durante los últimos años, la ciencia y la tecnología ha evolucionado la manera como se potabiliza y se trata el agua, en donde una de las técnicas más ancestrales y que se ha venido modernizando es la desalinización mediante el uso de diferentes fuentes de energía, entre ellas la energía solar. Proceso que permite ser potencial, para ser incorporado en territorios rurales que cuentan con problemas de escasez de agua y valores altos de radiación solar.

La desalinización por radiación solar se puede clasificar en dos maneras: pasiva y activa. La diferencia entre las dos radica en la forma como se transforma la energía. Es decir, la de tipo pasivo es una técnica que transforma el calor y lo utiliza sin necesidad de otros dispositivos (directamente), mientras la activa necesita de algunos mecanismos o aditamentos para transformar el calor emitido por el sol (p. ej: colectores, paneles, baterías, entre otros) y producir un cambio de fase en el agua. Actualmente la desalinización solar pasiva se bifurca en dos sistemas: de una sola pendiente o más, de manera simétrica y no simétrica como configuración física de un equipo.

Tiwari & Mishra (2013) detallaron un compendio de ecuaciones y procesos que se generan alrededor de la desalinización solar de tipo pasivo o invernadero. Estas ecuaciones y procesos, están basadas en el análisis de la humidificación solar, la trasferencia de calor en un equipo de desalinización y el análisis de la eficiencia de los destiladores solares. Pero fue Sharaf Eldean (2011) quien desarrollara una ecuación para la obtención de la productividad de un desalinizador de tipo pasivo en función de la radiación solar, la temperatura ambiente y la velocidad del viento (ver ecuación 1) y una ecuación para condiciones de irradiación sobre superficies de cuerpo negro (ver ecuación 2), dado que en esta particularidad de superficies toda la energía incidente desde el exterior es absorbida y toda la energía incidente desde el interior es emitida.

$$\mathbf{P} = (\mathbf{0.244} * \mathbf{Rs}) - (\mathbf{0.0294} * \boldsymbol{T_{amb}}) - (\mathbf{0.0073} * \boldsymbol{V_w}) - \mathbf{0.01222} \qquad \textbf{Ecuacion (1)}$$

Donde

P: Productividad (kg/m^2*día) Rs: Radiación solar (MJ/m^2) Tamb: Temperatura ambiente (°C) V_W: Velocidad del viento (km/h)

$$\mathbf{P_d} = \mathbf{1.2122} * \mathbf{P^{1.0467}} \qquad \textbf{Ecuación (2)}$$

Donde

P_d: Productividad en superficie de cuerpo negro (kg/m^2*día) P: Productividad de desalinizador (kg/m^2*día)

Materiales y métodos

Antes de presentar los resultados de las condiciones técnicas del desalinizador es necesario resaltar que al momento de trabajar o llevar una tecnología a un espacio o territorio rural indígena, indisolublemente la comunidad es el escenario principal de actuación. Dado que ellos serán los que acepten, evalúen, conduzcan orechacen un elemento foráneo a su entorno, costumbre y cultura. Por ello uno de los objetivos del presente documento es mostrar las condiciones técnico - sociales del sistema de desalinización, el cual será una unidad de tratamiento de agua de tipo descentralizado basada exclusivamente en energía solar.

Definición de las condiciones socioeconómicas

Dentro de la comunidad *Parenskat* se realizó un *test* de orden cualitativo y cuantitativo aleatorio. El *test* se elaboró con el ánimo de recoger las posibles exigencias y percepciones de la comunidad y ver las potencialidades de su entorno como territorio, junto con la aceptación de un equipo tecnológico ajeno a su cultura y costumbres. En este sentido, la herramienta implementada fue un *test* que estuvo divido en 6 partes donde se buscó obtener la percepción dentro de la comunidad sobre los siguientes ejes: [1] uso y consumo del agua, [2] almacenamiento del agua a nivel domiciliario, [3] control de la calidad del agua a nivel familiar, [4] valoración económica, [5] percepción de la radiación solar y [6] percepción de la adquisición de tecnología. En la Figura 1 se presenta una ilustración del trabajo realizado dentro de la comunidad para obtener la información primaria en campo, donde el universo de la muestra fueron 104 familias para un tamaño de muestra aleatorio de 20 familias con una proporción esperada del 85% (zona homogénea).

Figura 1. Aplicación de test dentro de la comunidad de *Parenskat*

Diseño del equipo desalinizador

Una vez definidas las condiciones socioeconómicas de la comunidad de Parenskat, se realizó una simulación matemática con las ecuaciones propuestas Sharaf Eldean (2011) mediante una línea de código en el software MATLAB y una extensión de Simulink MATLAB desarrollada por Sharaf (2007) para desalinizadores solares. Para la obtención de la radiación solar en función de la posición geográfica de la comunidad, se integraron modelos de correlaciones matemáticas (p, ej: Hottel, Ashrea, Iqbal, Atwater, etc.). Donde el objetivo fue realizar varias simulaciones matemáticas para obtener un rendimiento teórico ≥ 15 L/día que es una de las condiciones técnico – sociales del equipo desalinizador. Cabe resaltar que las ecuaciones son balances energéticos sobre un elemento fijo, ya que la única fuente de energía que alimenta el desalinizador es la radiación solar.

De acuerdo con los resultados de la modelación matemática, se estimó que el área mínima para producir 15 L/día de agua desalinizada es de 13.38 m^2. Es decir que se necesitarían unas dimensiones de 3.67 m x 3.67 m, para obtener el volumen mínimo de agua requerida. Pero estas dimensiones se consideran no ideales para operar un prototipo o elemento rígido, dado que se buscó que el desalinizador sea construido por dos personas y operado por una persona. En consecuencia, se define un prototipo con unas dimensiones máximas de: 1.0 m de ancho que es la máxima extensión que una persona puede abrir los brazos y manipular un objeto con coordinación (Kula, 1999), y una longitud o lado más largo de 3.0 m que es una medida estándar para conseguir un perfil de aluminio o metal.

Acorde con lo anterior y adoptando la geometría propuesta por Tiwari & Mishra (2012) para desalinizadores pasivos, se fabricó un desalinizador de una cara a una sola pendiente (Ver Figura 2) con una entrada de agua para desalinizar y dos salidas para el agua desalinizada (tratada) y otra para el agua sin desalinizar (rechazo). En donde los componentes del sistema son: (1) una estructura o marco de aluminio aislada térmicamente del medio exterior, dado que el aluminio es un metal altamente reductor y minimiza la corrosión; dos (2) de sus caras frontales serán de un material de película semirígida de PVC transparente, que permitirá el paso de la radiación solar. Entre el medio del marco y las capas de la película transparente, se colocó una placa de aluminio y sobre ésta un material de geotextil no tejido de número 2000 o 451 NT, el cual actuará como material retenedor de agua para que posteriormente se inicie el cambio de fase del agua por medio de la evaporación.

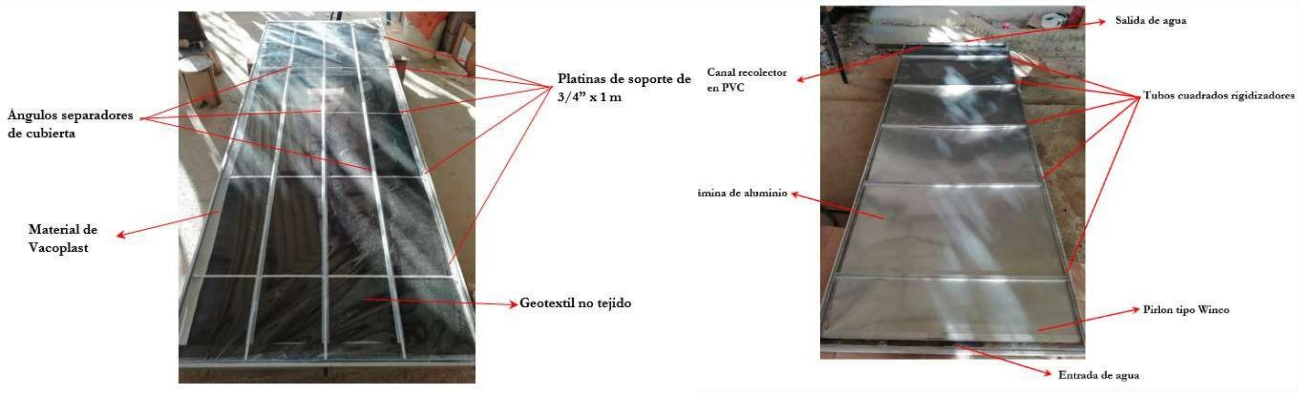


Figura 2. Prototipo de Desalinizador pasivo de una pendiente de prueba piloto.

Resultados y discusión

La prueba piloto se centró en monitorear el volumen de agua diario producido por el prototipo y la caracterización del agua cruda (agua de mar) y el agua desalinizada mediante pruebas físico – químicas *IN SITU*, con el ánimo de verificar la efectividad del tratamiento en la eliminación de los cloruros y la modificación de otras propiedades. Las únicas mediciones realizadas *in situ* fueron: alcalinidad total, conductividad, dureza cálcica, dureza total, pH, temperatura y turbiedad tanto para el agua cruda y tratada. Para la concentración de cloruros (sal), las muestras fueron preservadas mediante ácido nítrico para su posterior análisis en laboratorio mediante la técnica de cromatografía y absorción atómica para obtener los valores de cloruros, calcio y magnesio respectivos del agua cruda. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la pruebapiloto.

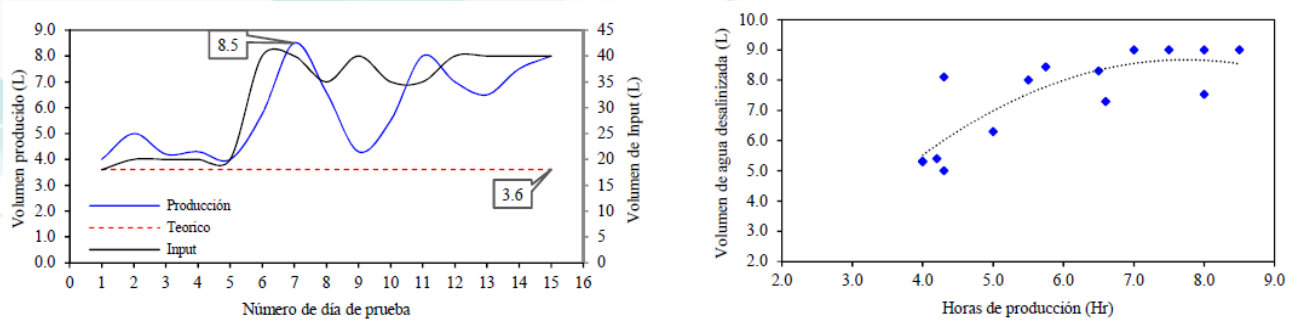


Figura 3. [a] Diagrama de volúmenes de agua producidos por el prototipo (Izq) y [b] Relación de volúmenes de agua producida vs horas de radiación (Der).

En las figuras 3a y 3b se aprecia que el volumen de agua producido por el prototipo supero los valores de producción teórica establecidos. Dentro del monitoreo se tiene un máximo de producción para el día 7 con un volumen total de 8.5 litros de agua desalinizada y un mínimo de 4.0 litros/día. Estos resultados muestran que laproducción de agua desalinizada para el prototipo de un área de 3.0 m^2 tuvo un rendimiento superior al 100% de lo obtenido teóricamente que fue de 3.61 L/día. El rendimiento promedio del equipo fue de 164.6% y un rendimiento máximo de 214.7% para un periodo consecutivo de 9 horas de operación. En las figuras 4 y 5, se puede evidenciar el comportamiento diario de los parámetros de turbiedad, dureza total, cloruros y conductividad, donde se evidencia la fuerte disminución de los cloruros.

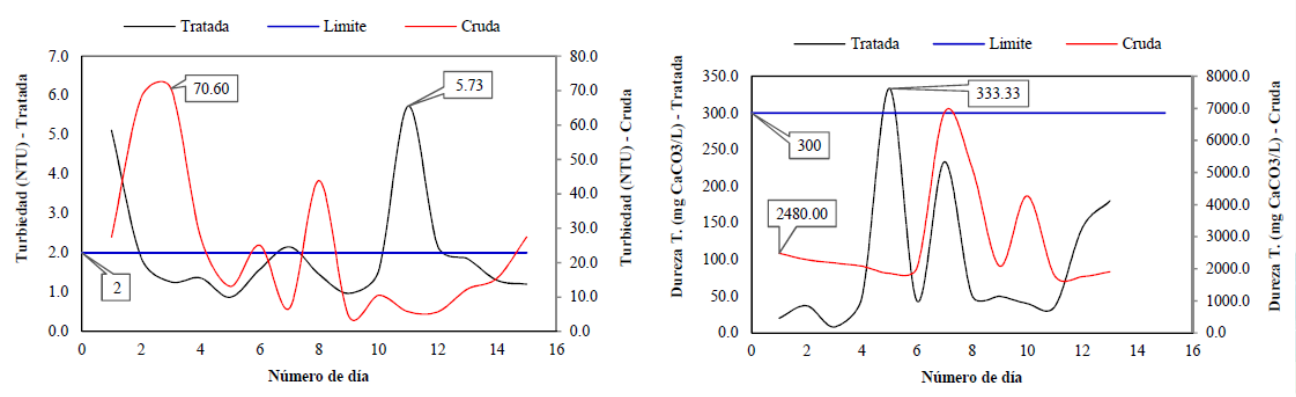


Figura 4. [a] Comportamiento diario de los valores de Turbiedad (izq.) y [b] Dureza Total (der.)

Los resultados obtenidos para la calidad del agua desalinizada (Tratada) y Cruda (Mar), se logra evidenciar que el porcentaje de desalinización o de eliminación de cloruros es alta. Toda vez que dentro de los análisis realizados al agua desalinizada solamente se reporta la presencia del 0.10% de la concentración inicial como valor promedio para los días monitoreados y que ninguna muestra recolectada supera los 250 mg/L de Cl^- (Valor límite Resolución 2115/2007). Pero para los análisis de turbiedad se encontró que el 73.33% de las muestran están dentro del límite máximo permitido, el 13.3% de las muestran supero en 3.42 NTU el valor máximo de la resolución y finalmente el 13.3% de las muestras supera en el valor máximo en 0.16 NTU.

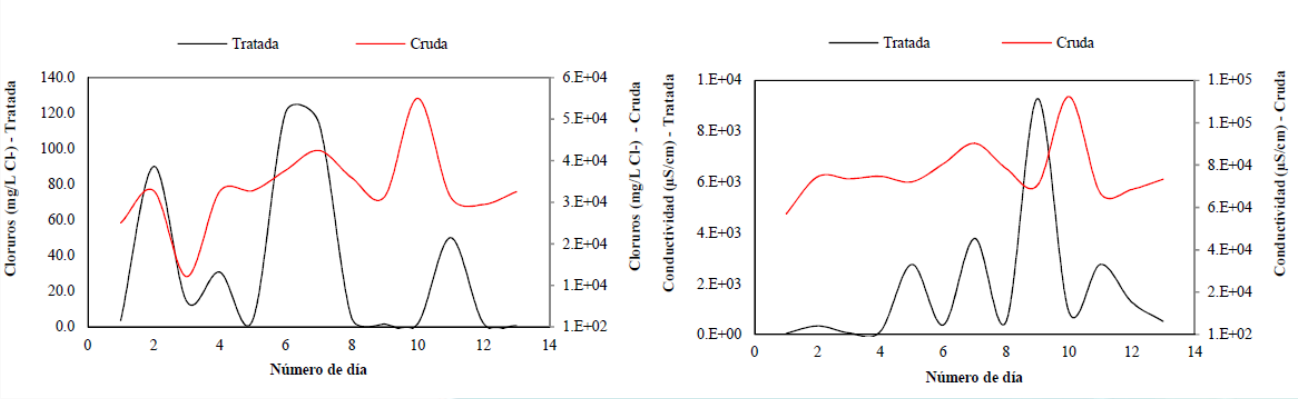


Figura 5. Comportamiento diario de los valores de Cloruros (izq.) y Conductividad (der.)

Conclusiones

Mediante la prueba piloto se demostró que la implementación y fabricación de un sistema descentralizado de desalinización de agua basado en energía solar puede generar volúmenes de agua segura de una forma eficaz y económica a mediano plazo con la implementación de materiales de orden nacional.

De acuerdo con la prueba piloto se obtuvo una calidad de agua que puede ser aceptable y mejorada para una ingesta segura. Toda vez que el prototipo desalinizador construido mostro la capacidad de entregar un cumplimiento al 89.5% de los parámetros establecidos en la resolución 2115 de 2007, resaltando la alta tasa de efectividad del desalinizador en disminuir las concentraciones de cloruros. Dado que se logró medir en laboratorio una reducción promedio de 33,253.84 mg/L a 33.78 mg/L de Cl^- dentro de los 15 días de la prueba piloto.

Implementando el producto de MERRA-2 - M2T1NXLFO se realizó un análisis en función de la radiación solar para las horas reales de la prueba del prototipo, donde se obtuvo una radiación promedio de 3319.87 W/m^2 para 7.40 hr y un promedio de 829.97 W/m^2 y 663.97 W/m^2 para 4 y 5 horas respectivamente. Con estos valores se evidencio que hubo una probabilidad de inhibición en la incubación o presencia de Coliformes Totales y/o microorganismos debido a los niveles de radiación solar de acuerdo con los trabajos de Wegelin et al. (1994) y Martín et al. (1999).

El rendimiento o producción de volumen de agua desalinizada obtenida fue de 0.803 L/hr equivalentes a 89.2 litros en 111 horas o de 6.9 L/día. Producción de agua que se calificó como buena, dado el aumento del 164.6% en el volumen total de agua promedio respecto al volumen/rendimiento teórico que se obtuvo mediante las ecuaciones matemáticas implementadas.

Dentro de la evaluación económica realizada para el prototipo se logró determinar que el desalinizador permiteahorrar un 21.5% durante un primer año y hasta el 96.8% para el segundo año comparado con la compra de unvolumen de agua constante equivalente a lo producido por el desalinizador. Este ahorro a mediano plazo [umbral de cinco (5) años], permite ahorrar la suma teórica de $ 13,763,530.00 millones de pesos M/CTE. Monto económico que se acopla a lo definido en las condiciones técnico-sociales establecidas en la comunidad de *Paresnkat*, donde una de las limitaciones para acceder y tener un desalinizador en casa es el costo económico. Sin embargo, bajo la evaluación técnica realizada, se determina que es viable la adquisición y construcción de un equipo desalinizador para un horizonte superior a dos años.

Se determinó que el uso de las aproximaciones matemáticas de Hottel (1976), Iqbal (1983) y Bird (1981), permiten simular y predecir de una buena manera la radiación medida en campo. Toda vez que los registros promedio reportados por el IDEAM variaron en 0.11 KWh/m^2/día.

Mediante la interacción con la comunidad de Parenskat, se evidencio que una longitud de tres (3) metros no es100% ideal para las condiciones físicas de algunas viviendas dentro de la comunidad, ya que se evidencio quealgunas casas tienen un ancho inferior a tres (3) metros. Lo cual ocasiona que no se pueda guardar el equipo desalinizador dentro de las viviendas con facilidad.

Referencias

Amitava, B. (2013) Solar Stills for Desalination of Water in Rural Households. International Journal of Environment and Sustainability. Disponible en: https://www.sciencetarget.com/Journal/index.php/IJES/article/viewFile/326/79.

Kumar, A. (2001) Flow visualization through spacer filled channels by computational fluid dynamics i.: Pressure drop and shear rate calculations for flat sheet geometry. Journal of Membrane Science, 193(1):69 – 84, 2001.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, (2018). Estudio Nacional del Agua 2018. Dispobnible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf.

Malik, M.A.S., Tiwari, G.N., Kumar, A. and Sodha, M.S. (2014) *Solar Distillation*: A Practical Study of a Wide Range of Stills and Their Optimum Design, Construction and Performance. Pergamon Press, Oxford. Disponible en: https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1282463. Mustapha, B (2014) Int. Journal of Engineering Research and Applications. Vol. 4, Issue 3. (Versión 1), pp.547-552. Disponible en: de https://core.ac.uk/download/pdf/25870557.pdf.

Resolución 3. (2017). Comisión interamericana de derechos humanos. Disponible en: https://www.oas.org/es/cidh/decisiones/pdf/2017/3-17MC51-15-CO.pdf.
Saaty, T.L. (2008) Decision making with the analytic hierarchy process, Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, pp.83–98. Sentencia T-740/11 (2011). Derecho fundamental al agua-concepto y fundamento. Disponible en: http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2011/T-740-11.htm.

Schmidt, M (2008). The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management - Part II: *Methodology and Current Applications. Journal of Industrial Ecology.* 12 (2): 173–185. doi:10.1111/j.1530-9290.2008.00015.x.

Tanaka. H, Nakatake. Y, Watanabe K (2004). Parametric study on a vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a heat-pipe solar collector. *Desalination* 171 (2004)
Tiwari, G.N., Arvind T y Shyam T. (2016) Handbook of solar energy theory, analysis and Applications. Muhammad H. Rashid, Pensacola.

Tiwari, G.N y Mishra, R.K. (2013). Advacend renewable energy sources. RSC Publishing.
WEGELIN, M., et al, 1994, Solar water disinfection. *Scope of the process and analysis of radiation experiments*, J Water SRT - Aqua Vol. 43, No. 3, pp. 154-169

APORTE DE LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA A LA GESTIÓN DEL CLIMA CAMBIANTE EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY.

Laura Camila Hernández Pinilla. Programa de Ingeniería Ambiental –Facultad de Ingeniería Universidad de La Salle. Bogotá D.C., Colombia

Victor Leonardo López Jiménez. Programa de Ingeniería Ambiental –Facultad de Ingeniería Universidad de La Salle. Bogotá D.C., Colombia

Introducción

Establecer los aportes de los procesos de restauración ecológica a la gestión del cambio climático en un área protegida del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, es el objeto de estudio del presente documento, el cual utiliza como línea base las herramientas de caracterización emitidas por entidades gubernamentales, con el fin de proponer un modelo conceptual donde se relacione la restauración ecológica con la mitigación y adaptación al cambio climático.

En 31 de las 59 áreas protegidas de Parques Nacionales Naturales (PNN) se implementan acciones de restauración ecológica, en aras de promover el ordenamiento ambiental para la adaptación y mitigación al cambio climático (PNN-Puentes et al., 2018). El Parque Nacional Natural el Cocuy, declarado área protegida desde 1977, está ubicado en la Región Andes Nororientales y en la Región Orinoquia, hace parte de la jurisdicción de 22 municipios, los cuales pertenecen a cinco departamentos, Arauca, Boyacá, Casanare, Norte de Santander y Santander (PNN- Eraso et al, 2019). Caracterizado por ser el área protegida con mayor número de hectáreas en proceso de restauración para el año 2018 (PNN-Puentes et al., 2018), es seleccionado como el caso de estudio para implementar el modelo conceptual, estimar la absorción de Gases Efecto Invernadero (GEI) en los predios en procesos de restauración y algunos indicadores de adaptación frente a los escenarios de cambio climático.

Los aportes del proceso de restauración a la mitigación de gases efecto invernadero, parte del análisis del estado de los bosques y almacenamiento de carbono a nivel nacional, tomando como

referencia el cambio de cobertura en el territorio; el IDEAM cuenta con el Sistema de Monitoreo de Bosque y Carbono (SMBYC), que busca generar información que permita conocer dónde, cuándo y porqué, están sucediendo cambios en la superficie y en los contenidos de carbono de los bosques del país (IDEAM,2019). Partiendo del SMBYC, Parques Nacionales Naturales con apoyo del IDEAM, generó el Atlas de Carbono de las áreas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales; donde presenta un análisis histórico de resultados de coberturas boscosas, almacenamiento de carbono, deforestación, regeneración y estimación de las emisiones de gases efecto invernadero (PNN, IDEAM.2018).

El Sistema de Monitoreo de Bosque y Carbono, es un complemento de una de las estrategias más reciente para la gestión de bosques, la Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques, la cual incorpora medidas y acciones que buscan controlar las causas de la perdida de los bosques naturales y propone un manejo sostenible de los mismos (MADS, IDEAM, 2017). Esta iniciativa refleja la preocupación frente al cambio climático a nivel nacional e internacional ya que integra una serie de políticas y estrategias en respuesta a esta problemática, entre estas; la Política Nacional de Cambio Climático y el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Estos documentos plantean la línea base conceptual y metodológica de esta investigación, usados como herramienta en este documento.

Para orientar los procesos relacionados con restauración y cambio climático en las áreas protegidas, Parques Nacionales Naturales de Colombia desarrolló el Lineamiento Institucional de Restauración Terrestre y Acuática y el Lineamiento Institucional para Afrontar el Clima Cambiante desde las Áreas Protegidas, los cuales buscan mantener la biodiversidad y servicios ecosistémicos de las áreas protegidas (AP). Como parte del conocimiento que se requiere para la gestión del cambio climático, la entidad avanza en generar la caracterización climática de las AP que componen el SPNN, por ende, para este documento se llevó a cabo la compilación y análisis de la información sobre las condiciones climáticas del PNN el Cocuy, además de las condiciones que muestran los estudios sobre el cambio climático.

La Recopilación de información climatológica del área protegida, el contraste de información en campo y el seguimiento de los proyectos de restauración por parte de los funcionarios del

Parque, permitió realizar un análisis situacional del caso de estudio, el cual arrojó fortalezas en el detalle de la información de un proyecto financiado por Ecopetrol y recomendaciones respecto al monitoreo y actualización de datos referentes a proyectos previos de restauración, ya que estos terminan siendo la principal herramienta para cuantificar los aportes frente adaptación y mitigación.

Metodología

El desarrollo del proyecto se dividió en tres fases que permitieron dar respuesta a los objetivos planteados en esta investigación. Gracias a la documentación otorgada en la Subdirección de Gestión y Manejo - Grupo de Planeación y Manejo y la consulta bibliográfica obtenida de otras entidades gubernamentales, se realizó la primera fase definida como exploratoria, donde se compiló y seleccionó la información que permitió entender el método para la estimación de carbono, conceptos básicos relacionados con restauración, cambio climático y el contexto general del caso de estudio frente a sus procesos de restauración. Luego, se clasificó la información, donde se obtuvieron algunas dudas que posteriormente fueron llevadas a campo por medio de charlas y cuestionarios, con el fin de contextualizar la realidad con la información teórica obtenida.

En la visita al PNN el Cocuy, en octubre del 2019, se hace un análisis situacional establecido como la segunda fase, donde se realiza un contraste de información teórica en campo. Como resultado, se examinan las características climáticas tomadas de documentos emitidos por PNN, donde se encuentra la descripción respecto a los fenómenos de variabilidad climática, influencia de su ubicación geográfica y escenarios de cambio climático; la información obtenida en campo referente a las estaciones meteorológicas aún se encuentra un poco dispersa, por ende, prevalece la información teórica encontrada.

Se logra identificar la contribución de los procesos de restauración al cumplimiento de los objetivos de manejo del Parque y preservación de los valores objeto de conservación, comparando el Programa de Restauración Ecológica Participativa y el Plan de Manejo.

Posteriormente se realiza una cronología de los proyectos de restauración implementados en el AP, encontrando que no hay un seguimiento de los proyectos anteriores al 2014, sin embargo, durante la visita de algunos predios se evidencia el progreso de recuperación y los funcionarios del Parque describen algunas actividades de mantenimiento, por ejemplo, verificar los cercados perimetrales de los predios y mantenimiento de senderos que permiten la vigilancia y control del terreno; por otro lado, uno de los últimos proyectos implementados en el AP es el financiado por Ecopetrol, este cuenta con actividades específicas de monitoreo que facilita la disponibilidad de información específica para la estimación de carbono de los predios en proceso de restauración.

Los aportes de los procesos de restauración del PNN el Cocuy a los efectos del clima cambiante se evidencian en la última fase, con el desarrollo del método para la estimación de carbono almacenado y equivalente en los predios en proceso de restauración, gracias al Protocolo para la Estimación Nacional y Subnacional de Biomasa - Carbono en Colombia, donde se indican todos los pasos a seguir para lograr el desarrollo de este procedimiento y así establecer los aportes de la restauración a la mitigación de gases efecto invernadero. De igual modo se seleccionaron y calificaron los indicadores de adaptación establecidos por el Sistema Nacional de Indicadores de Adaptación al Cambio Climático, de esta forma se logra establecer si el parque debe o no adaptarse a los cambios de precipitación y temperatura proyectados.

Las herramientas usadas en cada una de las fases se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Diagrama Metodológico.

Fases	Herramientas
1. Exploratoria	– Consulta en bases de datos de; PNN, IDEAM, MADS. – Selección de información bibliográfica obtenida de; PNN, IDEAM, MADS. – Clasificación de la información recopilada – Diseño de aplicación de encuestas que contextualicen la realidad del PNN el Cocuy frente a los procesos de restauración.
2. Análisis situacional	– Generalidades del Plan de Manejo PNN el Cocuy; ubicación, objetivos de conservación y objetivos de gestión relacionados a los procesos de restauración el AP. – Seguimiento de los procesos de restauración ecológica en el AP. – Análisis de información de las características climatológicas del PNN el Cocuy
3. Desarrollo y Resultados	– Mitigación: implementación de ecuaciones para estimación de carbono acumulado y equivalente a partir de la información disponible. – Adaptación: selección y calificación de indicadores de adaptación – Conclusiones: establecer los aportes de restauración y gestión del cambio climático. – Recomendaciones.

Fuente: elaboración propia

1.1 Modelo Conceptual

El Modelo conceptual es el resultado de la información teórica, normativa y conceptos básicos presentados a manera de diagrama (*figura 2*), con el fin de establecer la relación entre restauración y gestión del clima cambiante en el Sistema de Parques Nacionales Naturales y de esta forma abrir un camino para incorporar la gestión del clima a las actividades relacionadas con la restauración ecológica.

La relación parte desde dos amenazas identificadas en las áreas protegidas tomando como referencia los objetivos de conservación; la primera, es el cambio de cobertura, a consecuencia de tensionantes como la deforestación, invasión del territorio, entre otros, abriendo paso a la degradación de ecosistemas y disminución de sumideros de carbono; la segunda, el cambio climático, tomando en cuenta dos conceptos que abarcan esta problemática, el calentamiento global, como los cambios de temperatura en la superficie y el cambio climático global, donde se evidencia los efectos de las alteraciones del clima[1]. Para el caso de estudio esta problemática se aborda desde la mitigación y adaptación.

Las dos amenazas identificadas anteriormente se manejan en coherencia con el marco normativo nacional a partir del Plan de Manejo, el Programa de Restauración Ecológica y el Programa de Monitoreo, que para el caso del PNN Cocuy incluye diseños de monitoreo a la restauración; gracias a estos instrumentos, se logra articular algunas herramientas para cuantificar los aportes de la restauración a la mitigación y adaptación al cambio climático, por medio del Protocolo Para la Estimación Nacional y Subnacional de Biomasa – Carbono en Colombia y el Sistema Nacional de Indicadores de Adaptación al Cambio Climático.

Se puede afirmar que la restauración contribuye a mantener la integridad ecológica de los ecosistemas en proceso de restauración, es decir qué; se mantiene su organización y autonomía a través del tiempo, su capacidad de retornar a las condiciones anteriores a una perturbación (PNN- Eraso et al., 2019). A continuación, en la figura 2, se presenta a manera de diagrama lo descrito anteriormente.

[1]La ciencia del cambio climático: https://www.youtube.com/watch?v=3liGmZB7Af4

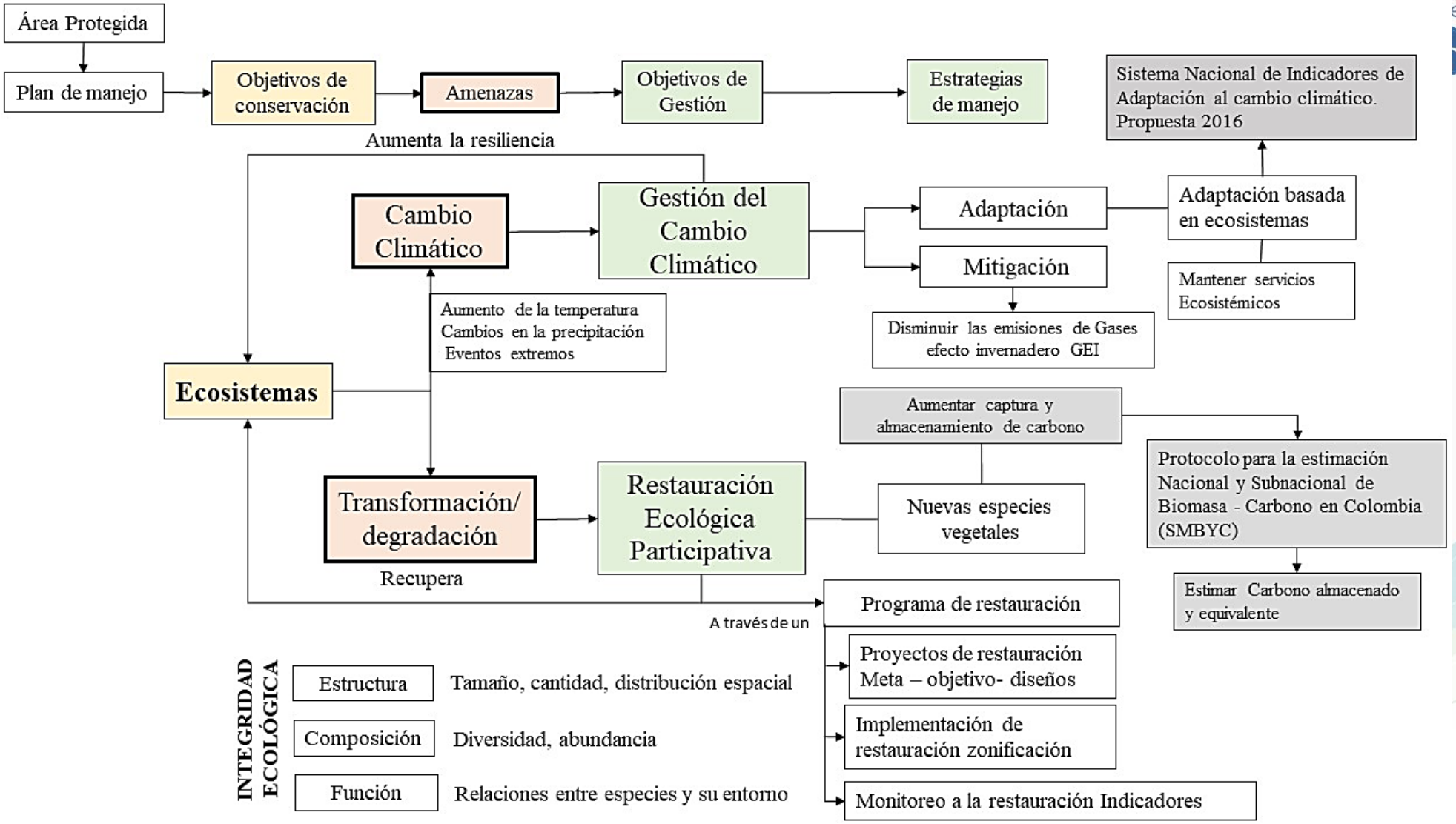


Figura 1. Modelo conceptual. Relación entre gestión del cambio climático y restauración.
Fuente. Elaboración hecha por autores.

2. Análisis Situacional del PNN el Cocuy

Para entender el caso de estudio es necesario generar un contexto del estado actual del PNN el Cocuy, frente a la restauración y el clima cambiante. En el primer caso, se identifica la relación de los procesos restauración en los objetivos de gestión establecidos en el Plan de Manejo, adicionalmente se registra el seguimiento que se ha llevado a los proyectos de restauración ecológica ejecutados. Para el caso de clima, se presenta la caracterización climática, abarcando su estado actual, donde se realiza una revisión de gran escala a pequeña, describiendo su ubicación geográfica a nivel nacional y de esta forma entender los factores que determinan su comportamiento; también se presentan la recopilación de los análisis frente a variabilidad climática y los escenarios de cambio climático proyectados a 2100. Lo anterior fue posible tras la recopilación de información otorgada por PNN y el contraste de esta información durante la visita de campo.

2.1 Generalidades

El PNN el Cocuy se declaró en 1977, mediante el Acuerdo No. 017 de INDERENA Tiene una extensión de 306.000 hectáreas, de las cuales 146.538 están traslapadas con resguardos indígenas de la etnia Uwa. Su ubicación geográfica es uno de los factores que determina su clima y su biodiversidad, según las características encontradas en el Plan de Manejo del AP:

> El PNN el Cocuy al estar ubicado en la sección tropical de la Cordillera de los Andes contiene entre 30.000 y 40.000 especies de plantas. En musgos y briófitas el 93% de las especies que se conocen en Colombia se encuentran en la Región Andina, y la misma tendencia se aprecia en hepáticas, grupo del cual el 80% está restringido a los Andes. La misma cordillera en su sector oriental por encima de los 3.300 msnm., contiene 260 de los 300 géneros de plantas vasculares de alta montaña en Colombia (83%) representados en unas 700 especies, lo cual constituye la flora más rica de alta montaña del mundo (Cleef, 1981 e Informe Humboldt, Cordillera Oriental). Uno de los grupos más ilustrativos la alta diversidad de los páramos son los frailejones: 130 especies altamente evolucionadas. Uno de los mayores centros de concentración es la región que comprendida entre los PNN Pisba, El Cocuy y Tamá. (PNN-Eraso et al., 2019).

Los biomas que componen el parque son los presentados a continuación en la tabla 1.

Tabla1. Biomas del PNN el Cocuy

NOMBRE COMUN DEL BIOMA	ÁREA (Has)	%
Glaciares Andinos	985	0,3
Vegetacion Arbustuva y Herbacea de Paramo	158.337	51,5
Humedales Andinos	179	0,1
Turberas Andinas	31	0,01
Bosque Humedo Alto Andino	98.760	32,1
Bosque Humedo Subandino	47.199	15,3
Selva Humeda Tropical	1.863	0,6
Cuerpos de agua (rios, cienagas, lagos, lagunas)	309	0,1
	307.663	100,00

Fuente: PNN- Eraso et al., 2019.

Cuencas y subcuencas. Del área del Parque, el 93,1% pertenece a la vertiente oriental de la Cordillera Oriental que se distribuye en 38,1% para la cuenca del río Arauca y 54,9% para la cuenca del río Casanare. El restante 6,9% corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera Oriental y a la cuenca media del río Chicamocha. En total las 35 subcuencas cubren un área de 7.115 km2 (PNN- Eraso et al., 2019). Las 35 subcuencas se convierten en 48 micro-cuencas. De estas 4 drenan a la cuenca media del río Chicamocha; 21 drenan al río Casanare y 10 drenan al río Arauca (PNN- Eraso et al., 2019).

Sistema lagunar. Para Güicán se registraron 117 cuerpos de agua con un área total de 310 ha; este municipio cubre el 25% del área del Parque. En el Parque la mayor cantidad de lagunas se ubica por encima de los 3.000 msnm; son lagunas de formación reciente y su génesis se relaciona con los modelados glaciares heredados de la última glaciación (PNN- Eraso et al., 2019). Son 98 los cuerpos de agua de la vertiente oriental de la cordillera. Ocupan un área de 519 ha. Las restantes 52 lagunas (237 ha) se localizan en la vertiente occidental. La microcuenca que más cuerpos de agua concentra es la del río Cóncavo (PNN- Eraso et al., 2019).

Una vez recopilada la información, se realizó una visita de campo *(anexo B),* allí se socializó con los funcionarios del parque el diagnostico compilado, con el fin de complementar y solucionar dudas de la información plasmada en los documentos. En efecto se encontraron testimonios

sobre las brechas presentes en los procesos de restauración del AP, en su mayoría relacionados a la tenencia de la tierra y a la dificultad de los ecosistemas para recuperarse, entre otros mencionados a lo largo del análisis situacional; a pesar de ello ha logrado posicionarse como el AP con mayor número de hectáreas en proceso de restauración. Sin embargo, es una actividad que se mantiene al margen de la gestión del cambio climático, por ende, este documento busca encontrar los aportes de la restauración ecológica a esta gestión.

2.2 Ubicación

El PNN el Cocuy se ubica en el extremo norte de la región nororiente del país, comienza en la estribación sur de la serranía de Perijá, en el punto de confluencia del límite del departamento de Norte de Santander, continua por el costado oriental donde converge con los departamentos de Arauca y Casanare, finalmente en el costado sur se encuentran los límites de los departamentos Casanare y Boyacá (*Figura 3)*, el AP se encuentra localizada específicamente en el piedemonte oriental, esta ubicación no solo determina la variedad de ecosistemas, también es clave para entender su comportamiento climático (PNN- Eraso et al, 2019).

Figura 2. Ubicación del Parque Nacional Natural el Cocuy. Fuente: PNN- Eraso et al., 2019.

2.3 Clima

La caracterización climatológica se basó en la recopilación de los siguientes documentos; Línea Base de Clima en las Áreas Protegidas, Versión 2 (Jaramillo et al., 2017) y Asociación de Eventos de Variabilidad Climática con las Alteraciones de la Precipitación y Temperatura Promedio Mensual en las Áreas Protegidas de las Regiones Nor-Oriente. Tercer Informe (2013); se recopilaron mapas emitidos por Parques Nacionales Naturales, donde se evidencian los cambios de precipitación y temperatura proyectados a 2100, identificados como escenarios de cambio climático.

Durante esta recopilación climatológica se encuentra que los datos de temperatura y precipitación están vigentes a los años 2005 y 2011, por lo que se tomó la decisión de hacer una actualización con el fin de darle un valor agregado a la información climática del AP, este proceso se realizó solicitando la información al IDEAM de las estaciones meteorológicas; Tinaga Boavita, Sierra Nevada del Cocuy y Chiscas. Se procesaron datos desde 1981 a 2017, donde se encontró que la descripción climática encontrada en los documentos recopilados de PNN está enfocada en la parte externa costado oriental de la cordillera y las estaciones meteorológicas están ubicadas hacia el costado occidental de la montaña, esto dio como resultado un complemento y descripción más amplia a la información ya existente, sin embargo, este proceso requirió de un tiempo adicional en la pasantía.

Debido a la extensión del documento se presenta como anexo A, allí se encuentra con mayor detalle las características climáticas del AP. A continuación, se presenta una pequeña síntesis con la descripción de los factores de temperatura y precipitación encontradas:

El parque se encuentra ubicado en la franja central del territorio nacional, sobre la parte alta de la Cordillera Oriental, distribuido sobre sus dos vertientes, lo que explica un comportamiento diferente de las lluvias sobre cada uno de los sectores a lo largo del año. La ubicación del parque hace que esté expuesto al doble paso de la Zona de Convergencia Intertropical, lo que explica las frecuentes lluvias entre finales de marzo y comienzos de abril, así como en los meses de octubre y noviembre. El área dispuesta sobre la vertiente oriental de la cordillera, es decir a barlovento de la montaña, recibe la humedad procedente de la Amazonia durante la mayor parte del año, entre abril y noviembre, incluyendo los meses de junio, julio y agosto, en los que la ZCIT no está activa sobre el centro del territorio nacional y, sin embargo, los vientos Alisios procedentes del sureste llegan cargados de humedad sobre esta ladera favoreciendo la formación de nubes e incrementando las cantidades de lluvia; por estas razones se considera que la distribución anual de la precipitación en la vertiente oriental de la cordillera oriental es de tipo monomodal.

En el sector del parque ubicado en el costado interno de la cordillera (sotavento de la montaña) las lluvias muestran un comportamiento bimodal, es decir que la humedad procedente del sureste del país entre junio y agosto no afecta de manera importante el normal descenso de las lluvias en esta época (segundo periodo seco del año). Las lluvias en esta vertiente (sector occidental de

la cordillera) se distribuyen de acuerdo con el tránsito de la ZCIT sobre el centro del país, es decir, las lluvias más fuertes y frecuentes se presentan entre abril y mayo y entre octubre y noviembre.

El rango de comportamiento de la temperatura en el área protegida El Cocuy, está relacionada con los pisos térmicos expuestos en la teoría de Caldas-Lang, utilizada en el Atlas climatológico publicado por el IDEAM. En el estudio, sin embargo, se tiene en cuenta el comportamiento del clima a partir del piso térmico frío.

La temperatura mínima en el área, de acuerdo con los valores que se reportan en las estaciones de referencia, se incrementa durante el periodo de lluvias, esto en razón a que la nubosidad ayuda a la conservación del calor en el aire superficial. De otro lado, el incremento de temperatura máxima durante los meses menos lluviosos se nota más durante la primera temporada seca, en razón a que los Alisios del sureste traen aire menos húmedo y más cálido debido a la estación de verano en el hemisferio sur. De igual manera los valores de temperatura media y máxima son un poco más bajos en la segunda temporada seca (junio a septiembre) que en la primera (diciembre a febrero) en razón a que las corrientes de los Alisios traen en este tiempo sobre la cordillera oriental de nuestro país aire frío y húmedo de la temporada de invierno en el hemisferio sur.

A continuación (tabla2) se presentan los registros de temperatura y precipitación media anual del AP de acuerdo con la elevación.

Tabla 2 Temperatura y Precipitación Media Anual del PNN el Cocuy

Estación	Elevación (msnm)	Temperatura media (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Precipitación media (mm)	Precipitación mínima(mm)	Precipitación máxima(mm)
Tinaga	2600	13,6	8,4	19	1153,6	45,9	2673,2
Boavita	2150	17,4	11,4	24,1	1271,4	331,2	2683,9
S.Nevada Cocuy	3716	6,8	1	11,8	988,9	125,8	2199,2
Chiscas	2350	17	10,6	21,9	1329,1	2536,8	543,8

Fuente: IDEAM.

3. Objetivos de Conservación y Gestión del PNN el Cocuy

Los objetivos de manejo del Área Protegida planteados en el Plan de Manejo son una herramienta que guía y propone estrategias de gestión para lograr el cumplimiento de los objetivos de conservación a largo plazo del área, a partir del logro de los objetivos más específicos de mediano y corto plazo. Esto es posible cuando se cuenta con el contexto e información básica del AP, que permita visualizar su estado actual y sus problemáticas, para finalmente definir las pautas para el uso sostenible de los recursos durante los siguiente cinco años (PNN- Eraso et al., 2019).

En esta sección se quiere identificar la participación de la restauración ecológica en estos objetivos, por medio del registro de los proyectos del programa de restauración ecológica participativa y estableciendo la relación que estos procesos tienen con los valores objetos de conservación; un objeto de conservación, tiene ciertas características o lo que se denomina atributos ecológicos clave, que pueden ser utilizados para ayudar a definir y evaluar su viabilidad o integridad ecológica (PNN- Eraso et al., 2019), por ello es importante incluirlos en los procesos de restauración.

3.1 Objetivos de Conservación

Para el caso del PNN el Cocuy, son propuestos cuatro objetivos de conservación enmarcados a nivel de; ecosistemas, biodiversidad, servicios ecosistémicos y cultural (PNN- Eraso et al., 2019). En este contexto se genera el conocimiento base referente a la vulnerabilidad y amenazas sobre los elementos que componen estos objetivos, denominados valores objeto de conservación (VOC), especificados en la *tabla 3,* donde se clasifica cada VOC según su objetivo de conservación.

Para el caso de los servicios ecosistémicos planteados en el Plan de manejo, *tabla 4* se puede partir del concepto de adaptación basada en ecosistemas, el PNN el Cocuy se convierte en un área estratégica para la provisión de servicios ecosistémicos que permita a la comunidad adaptarse a las condiciones que se impondrán en el entorno (PNN- Eraso et al, 2019).

Tabla 3. Objetivos de Conservación y Valores Objeto de Conservación PNN el Cocuy.

Objetivos de Conservación	**Valores objeto de Conservación**
Mantenimiento y/o mejoramiento de la Integridad Ecológica, su integración a procesos de estructuración ecológica del territorio y en el escenario actual de cambio global.	Selva Húmeda Tropical, Bosque Andino, Bosque Alto Andino, Subparamo, Paramo, Glaciar
Poblaciones de especies silvestres, con énfasis en especies endémicas y/o en cualquier categoría de riesgo a la extinción, como aporte a su permanencia y funcionalidad.	Lauraceas, *Espeletias, Lagarto collarejo*
Regulación Hídrica, Regulación Climática y diversidad genética y cultural para el mejoramiento de la valoración integral por parte de las comunidades de Arauca, Boyacá, Casanare y Santander.	Quebrada La Cristalina, Rio Tame, Lagunillas, Concavo, Cardenillo y Rio Pajarito.
Conservar los ecosistemas que aportan a la provisión de servicios de los cuales depende el pueblo U'wa para el desarrollo de sus actividades y su bienestar.	Ecosistemas utilizados por el pueblo U´wa

Fuente: PNN- Eraso et al., 2019

Tabla 4. Servicios ecosistémicos del PNN el Cocuy.

Clasificación	Servicio Ecosistémicos	Beneficio
Aprovisionamiento	Agua limpia, aire, alimento, combustible y materiales de construcción	Fibras (mochilas U´wa), maderas (Lauraceas), leña (Colorado, Palo blanco en el páramo), agua (15 acueductos), suelo (uso para ganadería y agricultura) y recursos genéticos (medicinales).
Regulación	Regulación Hídrica, regulación Climática, captura y almacenamiento de carbono	Quebrada La Cristalina, Rio Tame, Lagunillas, Concavo, Cardenillo y Rio Pajarito. Captura y almacenamiento de Carbono, Interacción de Especies y Control Biológico
	Prevención, reducción, protección de riesgos naturales	Mantener corredores ecológicos, mantiene especies donde hay buena biodiversidad, buen potencial ecoturístico.
Culturales	Actividades recreativas, diversidad genética y cultural	Ecoturismo, patrimonio cultural, educación, valores paisajísticos, espirituales y religiosos, conocimiento.
	Valor potencial de plantas medicinales	Salud integra, la recreación, meditación descanso en la naturaleza porque proporciona bienestar mental y espiritual

Fuente: recopilado de PNN- Eraso et al., 2019 & DTAN, 2019, Memoria Taller Participativo Percepción de Beneficios Parque Nacional Natural Cocuy Dirección Territorial Andes Nororientales.

3.2 Objetivos de Gestión

El Plan de Manejo del PNN el Cocuy, presenta una estrategia para el cumplimiento de sus objetivos, donde se analiza las situaciones de manejo priorizados, versus los objetivos de conservación en sus diferentes niveles; su objetivo principal plantea lo siguiente: ‘‘Disminuir las presiones generadas por el uso y ocupación en el PNN el Cocuy, aportando al mantenimiento de la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos para el bienestar de las comunidades de la región en un escenario de cambio global’’*(p.248).* Lo anterior se estructura a manera de diagrama *(figura 4),* donde se presentan las diferentes metas del AP, entre ellas las asociadas a

la restauración, donde se proponen **840 hectáreas en proceso de restauración a 2023**, meta que aporta en la articulación de los procesos de planificación y ordenamiento del territorio.

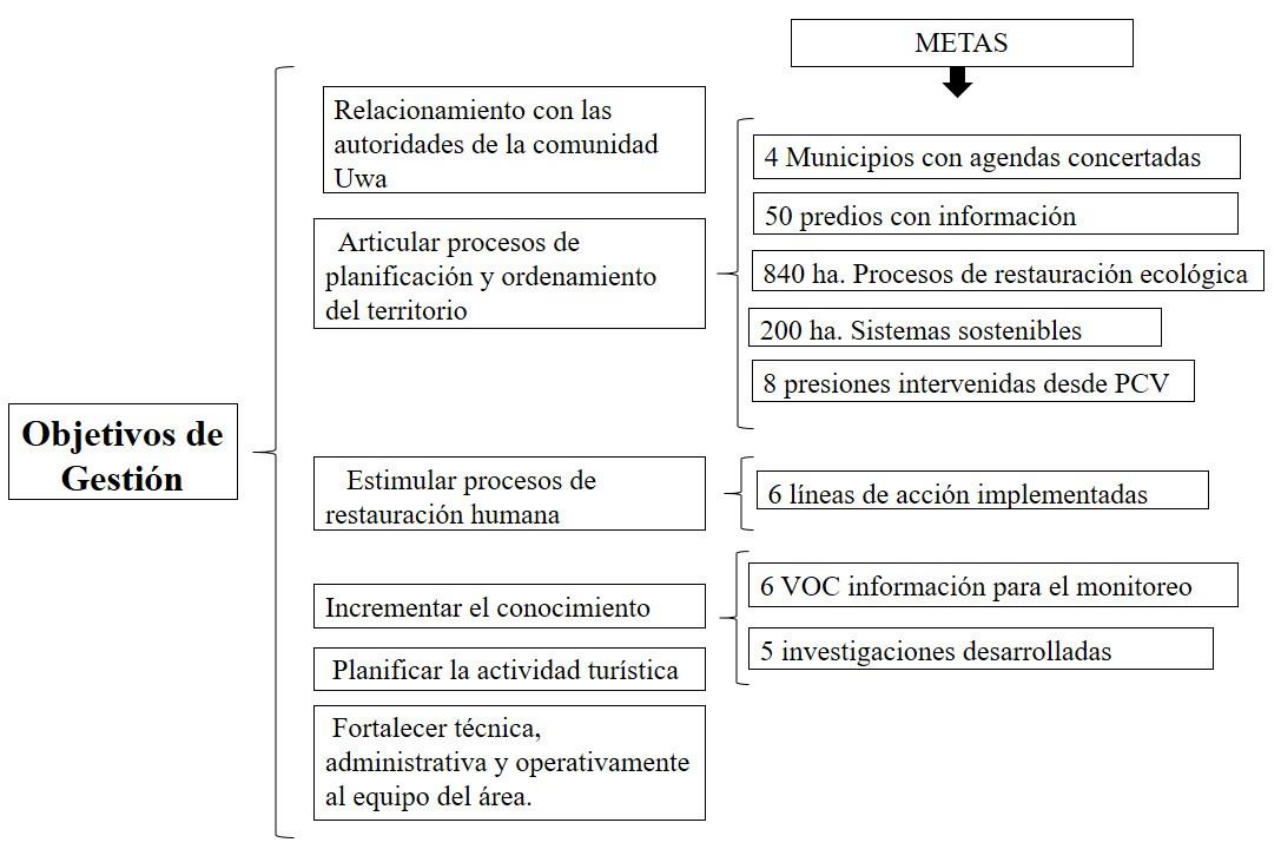


Figura 3. Estructura general del marco lógico del Plan Estratégico del PNN el Cocuy. Fuente: PNN- Eraso et al., 2019.

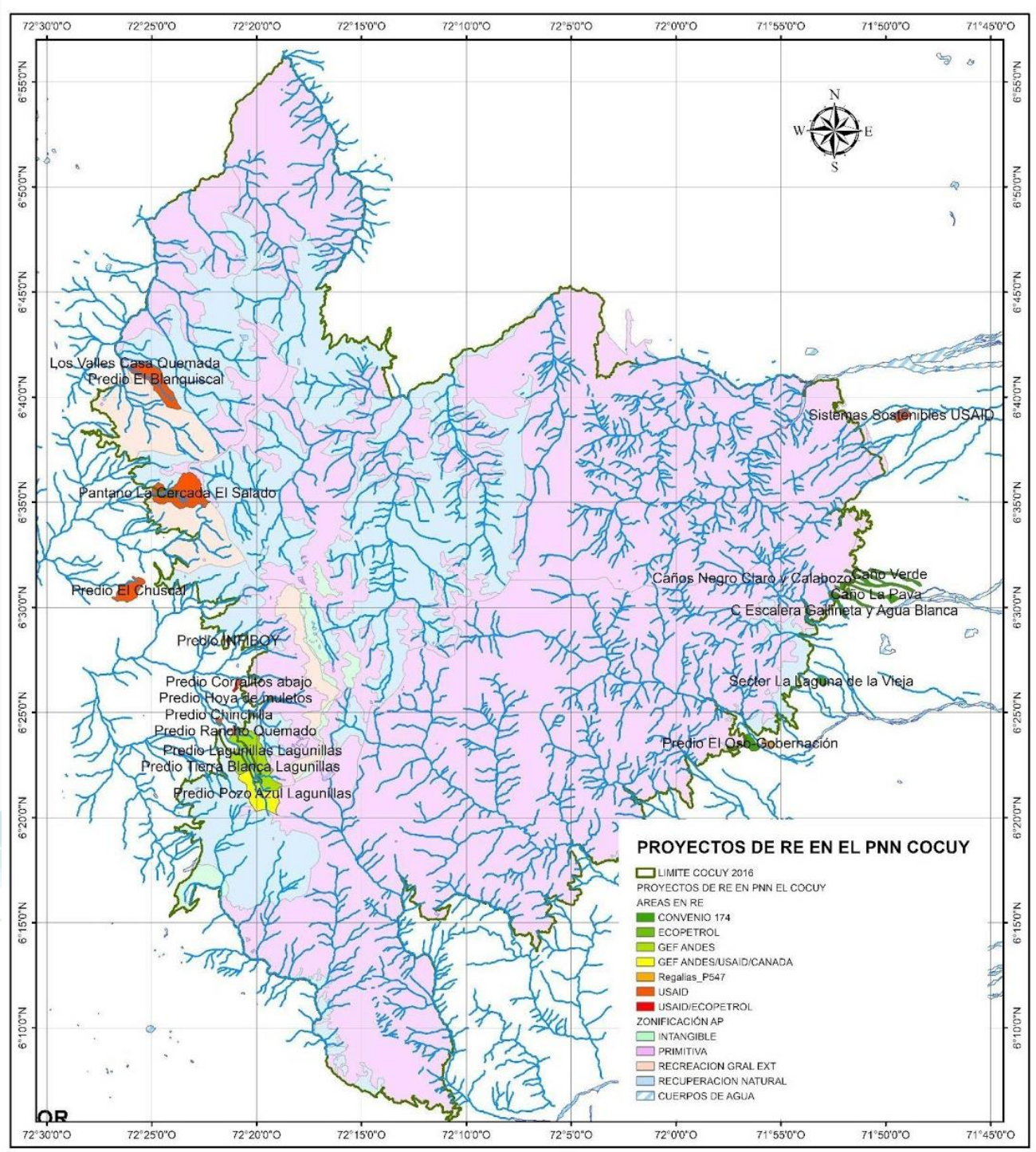


Figura 5. Localización de Proyectos de RE en el PNN el Cocuy.
Fuente: Programa de Restauración Ecológica PNN el Cocuy, 2017

La sumatoria de todos los predios en proceso de restauración da un total de 5032.6 ha, clasificando el PNN el Cocuy como el área protegida con mayor número de hectáreas en proceso de restauración; los predios en los que se han realizado estos procesos se encuentran en ubicados en la *figura 5*, localizando geográficamente cada proyecto, donde se evidencia que en su mayoría se encuentran localizados en la parte occidental del AP.

Como se observa, el proyecto financiado por Ecopetrol es uno de los más recientes ejecutados en el AP, por ende, las actividades de monitoreo aún siguen activas. Lo anterior se establece en el Programa de Monitoreo y Seguimiento de los Diseños de Restauración (2016), realizado por la consultora Ecodes; programa al que los funcionarios de AP le han dado continuidad, reflejado en las estructuras de datos de monitoreo de los predios INFIBOY, Hoya de Muletos y Chorreron; aunque la información encontrada en los informes emitidos por Ecodes presenta vacíos de información en los escenarios de restauración donde en algunos casos no es claro las especies de plantas usadas, por lo tanto tampoco están en las tablas de monitoreo, esta información permite el desarrollo metodológico en la estimación de carbono almacenado y equivalente.

También vale la pena mencionar que el proyecto realizado por Ecodes incluía el objetivo de reducir emisiones de GEI, mediante las acciones de restauración; por lo que usaron la herramienta TARAM para la estimación de carbono y proyección de restauración en el tiempo. En la pasantía se revisó esta metodología pero debido a la cantidad de datos y nivel de detalle que solicita esta herramienta, no se consideró para la estimación.

Atlas de Carbono PNN el Cocuy. Partiendo del SMBYC, PNN en conjunto con el IDEAM presentó el Atlas de Carbono de las Áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, el documento expone un análisis histórico de resultados de coberturas boscosas, almacenamiento de carbono, deforestación, regeneración y estimación de las emisiones de GEI, con base en los análisis de bosque-no bosque, en 54 de las áreas protegidas del SPNN y zonas amortiguadoras (IDEAM & PNN, 2018).

El Atlas de Carbono, sirve como una herramienta de monitoreo para el análisis frente al cambio de cobertura del AP; a pesar de que no puede ser relacionada directamente con la restauración, presenta un diagnóstico sobre el estado del parque referente a regeneración y otorga datos de carbono acumulado y equivalente, los cuales son usados en la comparación de resultados de esta investigación.

En la *Tabla 5,* se presentan los valores de deforestación y regeneración presentes en el PNN el Cocuy, observando la gran desigualdad de esos dos valores, donde la deforestación sobrepasan en 13.000 ha al valor de regeneración, es decir que dentro del área protegida no se están presentando los procesos necesarios que compensen el impacto de actividades relacionadas a la deforestación.

Tabla 5. Deforestación, regeneración y deforestación neta del PNN el Cocuy.

Variable	**Área protegida**	**Área con Función Amortiguadora**
	1990-2010	**1990-2010**
Deforestación (ha)	14.090,3	27.152,8
Regeneración (ha)	1.296,5	1.216,8
Deforestación Neta (ha)	12.793,8	25.936

Fuente: IDEAM & PNN, 2018

En la Figura 6, se observa que a pesar de que los valores de deforestación son tan altos, en un periodo de veinte años ha logrado disminuir, de 8.000 ha en 1990, a menos de 2.000 ha reportadas para 2010.

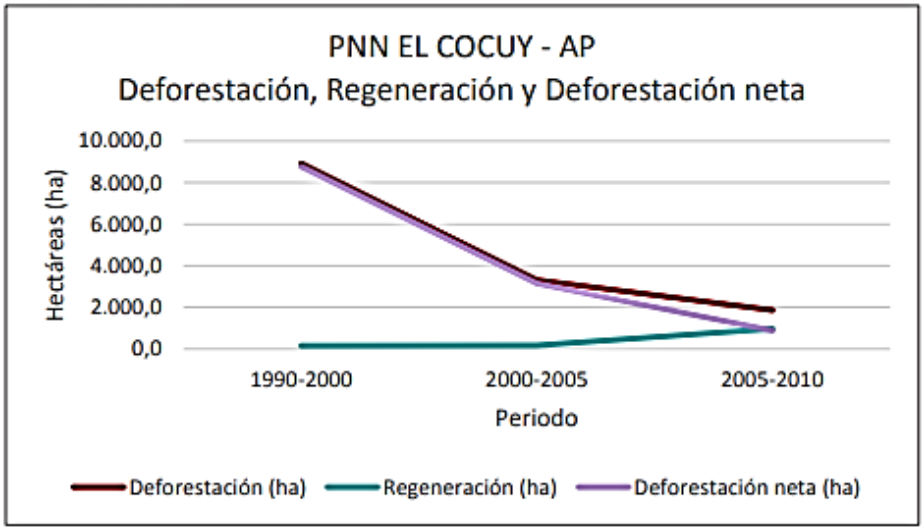


Figura 6 . Graficas de deforestación, regeneración del PNN el Cocuy. Fuente: IDEAM & PNN, 2018.

Las áreas amortiguadoras al estar fuera de los límites del área protegida permiten una mayor ocupación del territorio y por ello se supone que los valores de deforestación son más altos, sin embargo, este valor logró disminuir significativamente dentro del mismo rango de veinte años.

La regeneración se toma como un proceso natural de un ecosistema de recuperarse por sí mismo y la restauración es un proceso deliberado para recuperar un ecosistema (PNGIBSE, 2015). Teniendo como base el valor de regeneración neta, se supone que el número de hectáreas de los procesos de restauración implementados en el AP, pueden hacer parte de esta cifra, lastimosamente no se puede realizar una comparación concisa frente a estos datos, ya que la procedencia de estos valores es de fuentes y metodologías distintas; el atlas de carbono es un análisis cartográfico y las hectáreas en proceso de restauración, son datos oficiales de los proyectos realizados en el AP. Se podría decir que, para lograr interpolar estos dos valores, se debe compilar a detalle cada uno de los factores que se tuvieron en cuenta para el cálculo de cada uno de los casos, y así conocer si el valor de las hectáreas en proceso de restauración hace parte de las 2.000ha regeneradas del AP y su zona amortiguadora, obteniendo como resultado las hectáreas que exitosamente han sido restauradas.

Una vez analizado el cambio de cobertura en el Atlas, se presenta los valores estimados de carbono almacenado y carbono equivalente del PNN el Cocuy; considerando el carbono acumulado como el 50% de carbono en la biomasa aérea y el carbono equivalente, hace referencia a la cantidad de dióxido de carbono dejado de emitir a la atmosfera al evitar la deforestación (IDEAM- Yepes et al., 2011). Los contenidos de carbono y carbono equivalente corresponden al análisis cartográfico basado en IDEAM 2014 escala 1:100.000, empleando una leyenda de estratificación que sigue la clasificación bioclimática de Holdridge. A continuación *(tabla 8)* se presenta la comparación entre 1990 y 2012 frente a la disminución de carbono almacenado y equivalente, debido a la pedida de cobertura o área de bosque.

Tabla 8. Biomasa, Carbono Almacenado y Carbono Equivalente del PNN el Cocuy.

Variable	Año	
	1990	2012
Área Bosque (ha)	156.557,3	127.975,6
Biomasa (tn)	31.235.317,9	25.615.755,2
$tC_{almacenado}$	14.680.599,9	**12.038.404,1**
$tC_{equivalente}$	53.877.799,9	**44.184.616,1**

Nota: para el área de bosque se emplea la clasificación bioclimática de Holdridge
Fuente: PNN & IDEAM, 2018

3.3 Relación de Programa de Restauración con los Objetivos de Conservación

Se realizó un comparativo de los ecosistemas y especies de plantas usados en los proyectos de restauración del AP, frente a los objetivos de conservación y VOC establecidos en el Plan de Manejo del PNN el Cocuy, con el fin de identificar si las especies y ecosistemas primordiales de conservación han sido implementados dentro de estos procesos; a continuacion se clasifica cada proyecto de restauracion con los componentes de biodiversidad y servicios ecosistémicos, planteados por el Plan de Manejo del AP; el aspecto cultural no se tuvo en cuenta en este caso ya que no es un factor el cual se este evaluando en este ejercicio investigativo.

Dentro de la información encontrada, se registra que las especies en negrilla de la *tabla 9,* son los VOC establecidos por área protegida, en su mayoria son especies que se encuentan a la altura de páramo y superpáramo; que ademas de ser un valor objeto de conservacion del AP, es el ecosistema mas común en la mayoria de proyectos de restauracion ecologica, de lo cual

se puede concluir, que los objetivos de conservación sí se estan tomando en cuenta en la planeacion de proyectos.

Tabla 9. Ecosistemas y Especies de los Procesos de Restauración del PNN el Cocuy.

Proyecto	**Ecosistema**	**Especies**
Propagación de material vegetal de páramo y superpáramo	Páramo, superpáramo.	Lítamo real , **Colorado** y **frailejón (Espeletia sp**), **Blanquizco, Chocho arbustivo**
RE Sector Lagunillas.	Rio Lagunillas	Panque, **Chilco**, **Espeletia lopezii (Frailejón), Romero, palo blanco,** Mortiño, Cucharo.
RE Participativa Costado Oriental, departamento de Arauca.	Cuencas hidrográficas que surten los municipios de Tame, Fortul y Saravena.	No se especifican las especies usadas en el proceso de restauración.
RE USAID AGENCIA	Páramo	Mortiño, Espino cabrito y **Colorado**
RE Lagunillas	Páramo	Chocho, **Colorado**, Cucharo paramero, **Palo blanco, Romero**, Blanquisco (Senecio sp).
RE ECOPETROL	Páramo y bosque alto andino	Especies establecidas en núcleos en el predio Chorrerón (P. ledifolia, H. junipericum, G. Paramuna, P. quadrijuga), **Espeletia lopezzi.**
RE KFW	Páramo	Restauracion pasiva

Nota: especies en negrilla son los valores objeto de conservacion establecidos en el PM del Parque Nacional Natural el Cocuy.Fuente: elaboración propia, recopilado de, Camacho et al., 2017.

4. Desarrollo y Resultados

4.1 Mitigación.

Estimación Captura de Carbono Proyecto Ecopetrol

En el PNN el Cocuy han desarrollado distintos proyectos relacionados a la restauración, aun así, no existe información detallada en campo sobre los proyectos más antiguos. Por lo que se decide realizar la estimación del carbono solo para el proyecto financiado por Ecopetrol desde el año 2014, aplicando la metodología a los predios de INFIBOY, Chorrerón y Hoya de Muletos.

Inicialmente se deben especificar las hectáreas en tratamiento, la subdivisión de los diferentes escenarios de restauración y las especies de plantas usadas en cada uno de los escenarios con su respectivo diámetro. Esta información se obtiene gracias al ‘‘Programa de Monitoreo y Seguimiento de los Diseños de Restauración Ecológica en el PNN el Cocuy’’ (Ecodes.2016), donde se especifica el protocolo de actividades, métodos de muestreo, y formatos de los elementos que deben ser registrados; a continuación, se presentan los pasos previos a la estimación de carbono acumulado y equivalente para este caso *(figura 8).* Sin embargo, el resultado encontrado presenta vacíos de información en dos escenarios de restauración, información de algunas especies de plantas y el valor del diámetro usado, fue el diámetro promedio de copa máxima y mínima; esta información podría ser reemplazada y completada por datos obtenidos en campo, sin ello se generaría una incertidumbre en la metodología propuesta.

A continuación, Se presenta una parte del ejercicio, aplicando la metodología propuesta al predio Chorrerón (*tabla 10*), tomando como base la información disponible de monitoreo e informes emitidos por Ecodes. Para el diámetro de las plantas se toma los datos mayores a 10 cm, debido a que, en el protocolo para la estimación de biomasa aérea, se aclara que la metodología debe ser aplicada a individuos con diámetros igual o mayor a 10 cm (IDEAM, MADS. 2011). Cabe resaltar que dentro de estos procesos de restauración se presentan muchos cambios, ya sea por la mortandad de las plántulas sembradas o las sucesiones de especies dominantes a lo largo de la recuperación de las parcelas.

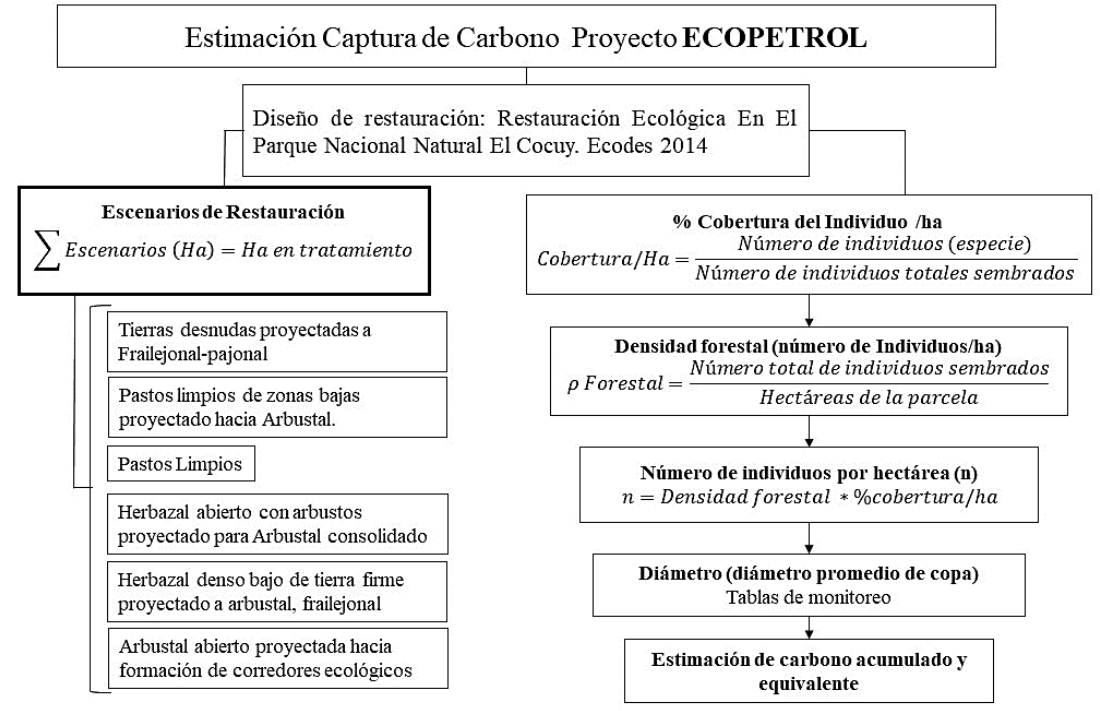


Figura 10. Estimación Captura de Carbono Proyecto ECOPETROL.
Fuente: elaboración propia

Debido a la extensa tabla presentada en el anexo C, solo se expone como *ejemplo* del desarrollo metodológico, el predio Chorrerón, (tabla 11), por lo que se sugiere acudir a este anexo en caso de presentar dudas. El predio Chorrerón tiene un área total de 14,24 ha de las cuales 6 ha cuentan con un tratamiento, definido en un escenario de restauración denominado como; herbazal denso bajo de tierra firme proyectado a arbustal-frailejonal, el cual tiene una densidad forestal de 591 individuos/ha (Ecodes.2017).

Gracias a esta información se logra calcular un porcentaje de cobertura y el número de individuos por especie. Una vez hallado el valor de biomasa aérea (BA), se procede a realizar el cálculo de carbono almacenado *(Ecuación 12)* y carbono equivalente *(Ecuación 13).*

Tabla 2. Estimación de biomasa aérea en el predio Chorreón.

Cobertura de la especie/ha	n (número de individuos)	Especie	D (cm)	BA Individuo (Kg)	BA Total (BA*n)	BA parcela (t/ha)
0,10	59	Frailejón	ND	ND	ND	ND
0,31	184	Romero amarillo	17,5	64,55	11876,91	11,88
0,05	26	Romero de castilla	ND	ND	ND	ND
0,11	66	Chite	11	21,48	1417,66	1,42
0,11	66	Espadilla	ND	ND	ND	ND
0,10	61	Paloblanco	14	38,04	2309,85	2,31
0,06	34	Colorado	19	78,44	2692,29	2,69
0,13	74	Chilco	ND	ND	ND	ND
0,03	20	Tuno	ND	ND	ND	ND
1	**591**				Sumatoria	**18,29**

Nota: ND. No disponible en tablas del Programa De Monitoreo y Seguimiento De Los Diseños De Restauración Ecológica En El PNN el Cocuy. Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta la metodología usada para la estimación del carbono acumulado y equivalente especificado en la figura 1, se procede a realizar el cálculo de estos dos valores, presentados en las ecuaciones 12 y 13, tomando como base la biomasa aérea del predio Chorrerón

$$tC_{predio} = \frac{18{,}29tn}{ha} * 0{,}5 * 6\ h = 55{,}44\ tn$$ Ecuación 12

$$tCe_{predio} = 55{,}44tn * 3{,}67 = 203{,}46\ tn$$ Ecuación 13

Resultados Proyecto Ecopetrol

Se presentan los resultados obtenidos en la estimación de carbono acumulado y equivalente en los predios de restauración del proyecto ECOPETROL encontrando que aproximadamente se almacenan 26tn/ha, para las 16 hectáreas en tratamiento; estos resultados son comparados con el Atlas de Carbono, en donde se hace la conversión del valor total reportado de carbono

almacenadas en 306.000 ha *(ver tabla 12)* a toneladas almacenadas en 1 ha, tomando este valor como teórico para facilitar el análisis de resultados.

También es claro que en el Atlas de Carbono se toman datos teóricos de la biomasa aérea de las zonas de vida establecidas por Holdridge (1978). Estos valores probablemente fueron tomados en bosques con propiedades distintas al caso de estudio, el cual se caracteriza por presentar variables específicas, que, en el caso de ser corroboradas en campo, podría disminuir el porcentaje de error en la metodología presente; además cabe resaltar que los datos del Atlas de Carbono son para el año 2012, por lo que se supone que ese dato en la actualidad ha cambiado.

Tabla 12. Comparación de resultados.

	Atlas de Carbono		**Proyecto ECOPETROL**	
Área (ha)	306000	1	16,84	1
$tC_{almacenado}$	12038404,1	**39,3**	437,52	**25,98**
$tC_{equivalente}$	44184616,1	**144,4**	1605,7	**95,35**

Fuente: Recopilado del Atlas de Carbono y resultado Proyecto ECOPETROL

Teniendo en cuenta lo anterior, se calcula un error aproximado del 35% *(ecuación 14),* este error relativo se alude a la falta de información en las tablas de monitoreo de los individuos sembrados; ausencia de información de dos de los escenarios de restauración y por último a los datos obtenidos de diámetro, ya que no siguen los parámetros establecidos en el protocolo de estimación de biomasa aérea.

$$Error\ (\%) = \frac{144{,}4 - 95{,}35}{144{,}4} * 100 = 34{,}8\% \qquad \text{Ecuación 14}$$

Es importante seguir en el proceso investigativo que lleve a ajustar la metodología expuesta, hasta lograr un resultado que se acerque cada vez más a los datos oficiales y de tal forma validarla. Esta investigación va más allá de obtener un cálculo exacto referente al carbono acumulado en los predios en proceso de restauración, busca incorporar metodologías que aporten al proceso investigativo frente al cambio climático y sea enfocado en mitigación (captura

de GEI). Finalmente, los interesados en aportar a los procesos de restauración dentro del PNN el Cocuy tendrán como valor agregado el uso de este tipo de herramientas.

4.2 Adaptación.

El desarrollo del concepto de adaptación basada en ecosistemas se enfocó en los indicadores propuestos por el Sistema Nacional de Indicadores de Adaptación al Cambio Climático (SNIACC), específicamente en los clasificados como; amenaza, exposición y vulnerabilidad. El principal inconveniente para estimar estos indicadores es el nivel de detalle de información que requieren, lo cual impide que algunos indicadores sean cuantificables, además no todos los indicadores cuentan con un rango de calificación, lo que dificulta conocer el estado actual de adaptación del AP frente al cambio climático. Por esta razón se toma la información disponible y se ajustan los indicadores a la situación actual, para otorgar un panorama sobre los cambios positivos o negativos proyectados para el AP, con el fin de que esta tome acciones frente a estos escenarios.

Indicadores de Amenaza al Cambio Climático.

Cambios proyectados de la precipitación media anual. El SNIACC, propone una ecuación para estimar este indicador, donde es necesaria la información específica del terreno o proporción del área del municipio en el rango de cambio de temperatura correspondiente; información con la que no cuenta el AP. Tomando como base las herramientas disponibles, en este caso los mapas de escenarios de cambio climático del anexo A, se decide usar los rangos de cambio observados en las proyecciones de precipitación en el PNN el Cocuy, ya que son los mismo rangos usados para para este indicador.

En los resultados que se observan en la figura 8, es posible establecer que, el tipo de cambio es normal (-10% a 10%), lo que quiere decir que no hay cambios tan marcados o específicos, en la imagen que corresponden a la gama de colores usados.

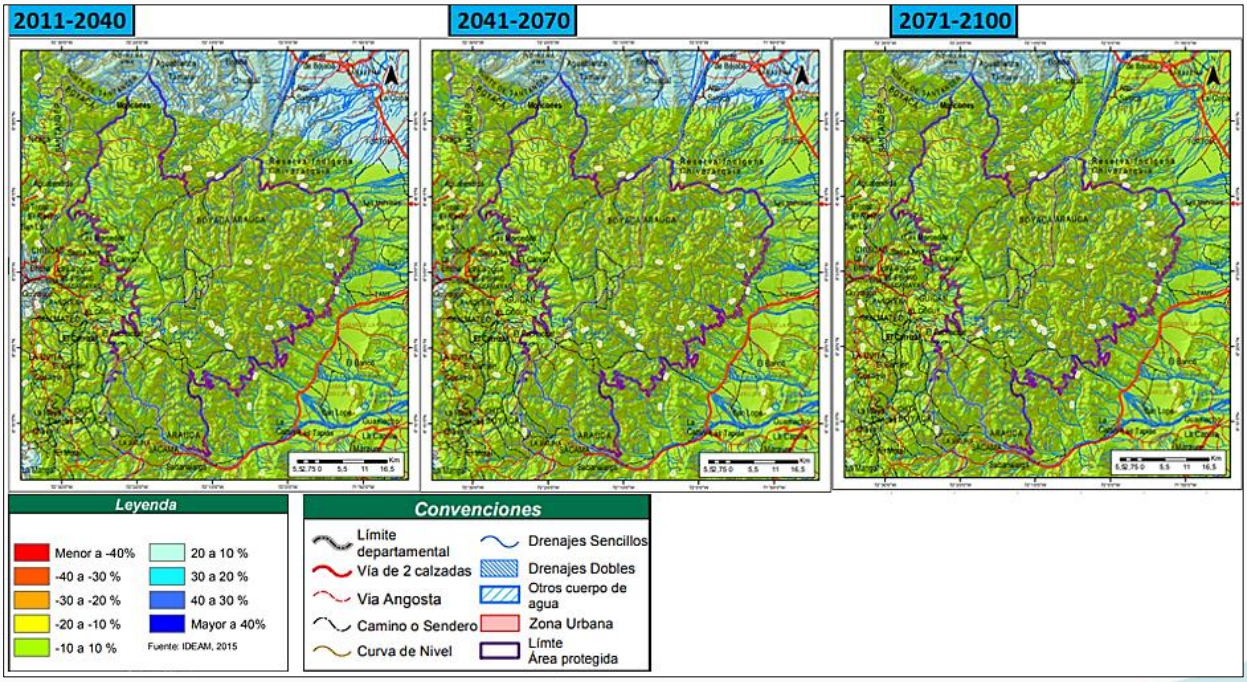


Figura 4. Escenario de Cambio climático, cambio de la precipitación en el PNN el Cocuy. Fuente: PNN, 2015, recopilado del anexo A.

En las tablas 13 y 14 se especifican los escenarios y los rangos con los que se determina el tipo de cambio, de acuerdo con el periodo establecido:

Tabla 13. Cambios proyectados en la precipitación media anual.

Escenarios de Cambio Climático	Rango de Cambio (%)	Media del Rango de Cambio (%)	Tipo de Cambio
2011-2040	-10 a 10	0	Normal
2041-2070	-10 a 10	0	Normal
2071-2100	-10 a 10	0	Normal

Fuente: Elaboración propia, recopilado de PNN, 2015 & Romero et al., 2016

Tabla 34. Rango de calificación del indicador de cambios en la precipitación.

Rango de Cambio (%)	Media de Rango de Cambio (%)	Tipo de Cambio
< -40	-40	Déficit severo
-40 a -30	-35	Déficit III

-30 a -20	-25	Déficit II
-20 a -10	-15	Déficit I
-10 a 10	0	Normal
10 a 20	15	
20 a 30	25	Exceso
30 a 40	35	
>a 40	40	Exceso severo

Fuente: Romero et al., 2016

Cambios proyectados de la temperatura media anual

La misma metodología usada para el caso anterior se usó para el indicador de cambios de temperatura. Ver figura 9, tomada del anexo A; la gama de colores varía mucho más en esta imagen por lo que se pueden evidenciar 3 tipos de cambio; bajo, bajo medio y medio, observando un aumento de temperatura de hasta 1,25 °C proyectada a 100 años. En las tablas 15 y 16 se evidencia el método de calificación.

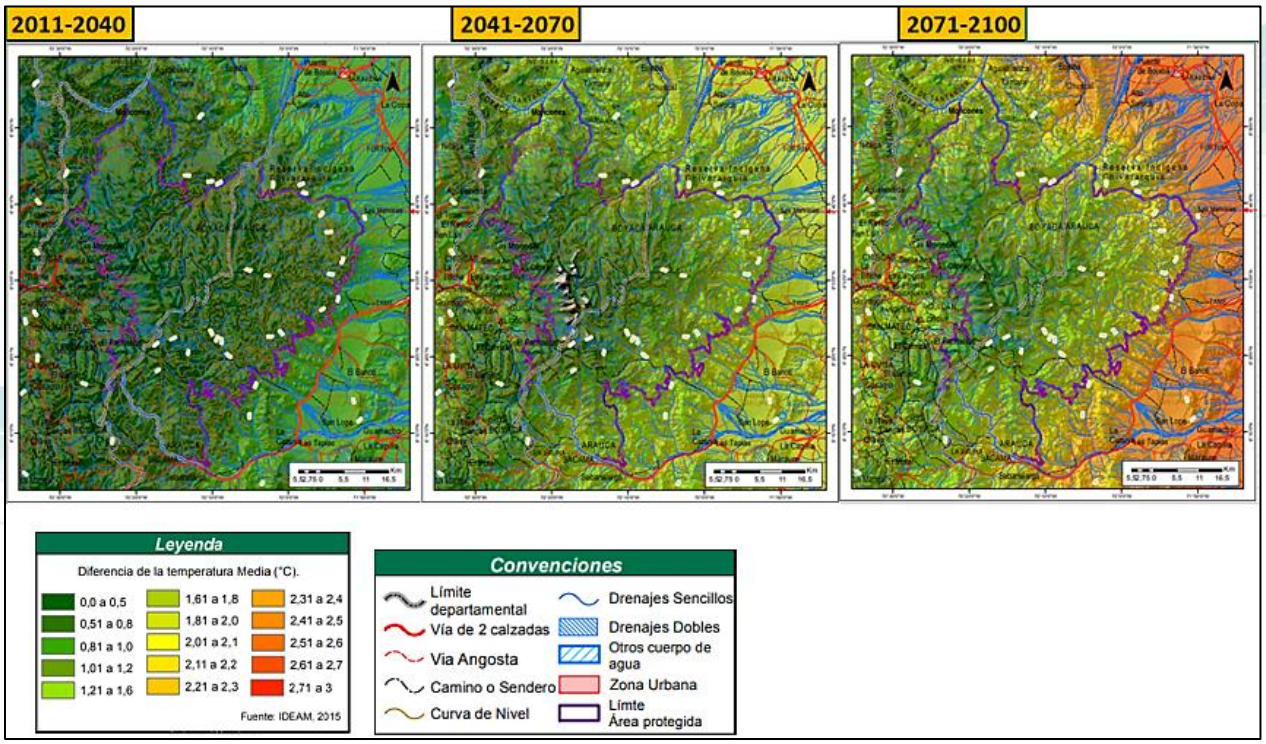


Figura 9..Escenario de cambio climático, cambio en la temperatura del PNN el Cocuy. Fuente: PNN, 2015, recopilado del anexo A.

Tabla 15. Cambios proyectados en la temperatura media anual.

Escenarios de Cambio Climático	Rango de Cambio (°C)	Media del Rango de Cambio (°C)	Tipo de Cambio
2011-2040	0,0 a 0,5	0,25	Bajo
2041-2070	0,51 a 0,8	0,75	Bajo Medio
2071-2100	1,21 a 1,6	1,25	Medio

Fuente: Elaboración propia, recopilado de PNN, 2015 & Romero et al., 2016

Tabla 16 . Rango de calificación del indicador de cambio de temperatura.

Rango de Cambio (°C)	Media de Rango de Cambio (°C)	Tipo de Cambio
2.01- 3.9	3.00	Alto
1.51 – 2.0	1.75	Medio Alto
1.01 – 1.5	1.25	Medio
0.51 – 1.0	0.75	Bajo Medio
0.0 – 0.5	0.25	Bajo

Romero et al., 2016

Retroceso de glaciar.

Los glaciares son reconocidos como indicadores de cambio climático, el cálculo del retroceso glaciar permite estimar impactos en sistemas de alta montaña (Romero et al., 2016), sin embargo, aún no hay rangos oficiales de calificación para este indicador por lo cual **no** se puede hacer una conclusión frente a los resultados obtenidos en la ecuación 15. De acuerdo con lo anterior se acude a los datos oficiales del IDEAM, donde se reportó que los glaciares en Colombia se han reducido un 60% en los últimos 60 años hasta el 2012 (IDEAM, 2012). En el caso del glaciar Sierra Nevada del Cocuy, desde el periodo de 1850 a 2017 se ha perdido el 91.26% del glaciar es decir 135.7Km^2 (IDEAM, 2018).

$$RG_{jt1-2} = \left(\frac{1}{2017-1850}\right) * Ln\left(\frac{137,7}{148.69}\right) * 100 = |1,45| \qquad \text{Ecuación 15}$$

Indicador de sensibilidad.

El ecosistema principal dentro del PNN el Cocuy son los páramos, ocupando un 51,5% del AP, en el año 2012 se reportó una transformación de 7.287ha, uno de sus principales tensionantes ha sido la ocupación del territorio, articulados a la construcción de las troncales nacionales o los caminos vecinales e intermunicipales, que facilitaron la expansión de la frontera

agrícola (PNN- Eraso et al.,2019). Como se mencionó previamente a estas amenazas se le suma los cambios de precipitación y temperatura.

Tasa de cambio de cobertura arbórea. Para el cálculo de este indicador se toma como herramienta principal, El plan de manejo del PNN el Cocuy, en donde se presenta el registro de los cambios de cobertura hasta el 2016 (PNN- Eraso et al., 2019). El objetivo de este indicador es identificar las coberturas donde se están dando procesos acelerados y significativos de pérdida o recuperación de cobertura vegetal natural (Romero et al., 2016).

Se puede observar en la tabla 17 que los tipos de cobertura como; arbustal denso, bosque denso alto de tierra firme, mosaico de cultivos pastos y espacios naturales, pastos limpios, zonas glaciares y nivales, presentan una pérdida de hectáreas en un periodo de catorce años, a pesar de ello la mayoría de las coberturas presentan un cambio pequeño pero favorable en la recuperación de terreno. Por otro lado, el valor de la tasa de cambio de cobertura arbórea no arroja valores que puedan ser comparados o analizados.

Tabla 17. Cambio de Cobertura PNN el Cocuy.

Coberturas	**2002**	**2016**	**Tasa de cambio de cobertura arbórea**
	ha	**ha**	
Afloramientos rocosos	10.731	11.275	9,090E-05
Arbustal abierto	17.163	17.275	5,808E-05
Arbustal denso	**11.711**	**11.552**	8,597E-05
Bosque denso alto de tierra firme	**132.367**	**130.650**	7,604E-06
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	367	565	2,179E-03
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1.224	1.830	6,637E-04
Herbazal abierto rocoso	3.955	3.955	
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	15.857	16.265	6,227E-05
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	89.317	92.449	1,100E-05
Lagunas lagos y cienagas naturales	226	226	
Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales	**720**	**209**	2,421E-03
Mosaico de pastos con espacios naturales	2.828	4.276	2,855E-04
Mosaico de pastos y cultivos	138	138	

Nubes	4.554		
Pastos enmalezados	1.062	1.625	7,555E-04
Pastos limpios	**3.996**	**3.142**	2,815E-04
Ríos	282	282	
Turberas	31	31	
Zonas arenosas naturales	5.778	6.500	1,631E-04
Zonas glaciares y nivales	**2.783**	**2.359**	3,898E-04
Zonas quemadas			
Vegetación secundaria o en transición	2.573	2.998	3,597E-04

Fuente: recopilado de, PNN- Eraso et al., 2019 & Autor

El indicador de tasa de cobertura, entonces, busca identificar la capacidad de un sistema en adaptarse a las nuevas condiciones y para ello, se debe encontrar una compensación entre el terreno recuperado y el terreno transformado; a pesar de contar con un alto porcentaje de conservación, las hectáreas en recuperación siguen siendo muy bajas, en comparación al área en condición de transformación o con presencia de presiones.

Conflicto de uso del territorio

Este indicador tiene como objetivo mostrar el porcentaje de territorio en conflicto de uso, estimando la discrepancia entre el uso que se hace actualmente del medio natural y el uso que debería tener de acuerdo con sus potencialidades y restricciones; este indicador no cuenta con una categoría de calificación (Romero et al., 2016).

Debido a lo anterior el Plan de Manejo del PNN el Cocuy otorga una calificación del rango en que las presiones están afectando los ecosistemas *(tabla 18)*; siendo la ganadería, las quemas y la sequía las presiones más críticas y están directamente relacionadas con el conflicto de uso del territorio; además presenta la estimación del ecosistema trasformado, acorde con los valores objeto de conservación (tabla 23), especificando las presiones que los rodean.

Tabla 18. Calificación de Presiones.

VOC. Ecosistemas	Ganadería	Agricultura	Quemas	Inundaciones	Tala	Incendios	Sequia	Turismo No Regulado
Selva Húmeda Tropical	M	L	M	L	NA	NA	NA	NA
Bosque Andino	C	L	C	NO	M	M	NA	NA
Páramo	C	M	C	NA	NA	M	C	M
Glaciar	NA	NA	NA	NA	NA	NA	C	-

Nota: M. Moderado, L. Leve, C. Crítico, NA. No Aplica
Fuente: elaboración propia, recopilado de PNN- Eraso et al., 2019.

Tabla 19. Caracterización de Presiones.

VOC. Ecosistemas	Hectáreas	Transformación (%)	Presiones
Selva Húmeda Tropical	25,8	100	Ganadería, Agricultura, Quemas, y como amenaza natural las inundaciones.
Bosque Andino	147.742,50	4,5	Ganadería, Tala, Agricultura y Quemas.
Páramo	158.920,7	1,5	Ganadería ovina principalmente, Incendios de cobertura natural, sequías durante el fenómeno del niño y turismo no regulado. La causa principal es el uso, ocupación y Tenencia.
Glaciar	1.535,7	80,4	Variabilidad climática

Fuente: elaboración propia, recopilado de PNN- Eraso et al., 2019.

Pérdida / degradación de ecosistemas estratégicos

El documento Información Temática de Parques otorgado en la Subdirección de Gestión y Manejo, establece un indicador de vulnerabilidad de los biomas; lastimosamente en el documento solo se especifica la vulnerabilidad ante las presiones de los ecosistemas y no se detalla la metodología implementada en su calificación. Aun así, es importante tenerlo en cuenta dentro del registro de información ya que se determina que los biomas con mayor vulnerabilidad son;

los glaciares andinos, los páramos, humedales y turberas andinas, a las presiones mencionadas en el anterior indicador.

Tabla 21. Vulnerabilidad de los Biomas al Cambio Climático.

Nombre Bioma	Vulnerabilidad
Glaciares Andinos	Muy Alta
Vegetación Arbustiva y Herbácea de Paramo	Alta
Humedales Andinos	Alta
Turberas Andinas	Alta
Bosque Húmedo Alto Andino	Media
Bosque Húmedo Subandino	Baja
Selva Húmeda Tropical	Muy Baja
Cuerpos de agua (ríos, ciénagas, lagos, lagunas)	Alta
Total	

Recopilado de: Información Temática de Parques (doc.)

Resultados Adaptación

A continuación, en la *tabla 22* se presenta una síntesis de los resultados encontrados en los indicadores de adaptación.

Tabla 22. Síntesis de los resultados indicadores de adaptación

Indicador	Resultado
– Cambios proyectados de la precipitación media anual	El tipo de cambio en los periodos de escenarios de cambio climático está entre los valores -10% a 10%, considerado dentro del rango de calificación como normal, es decir no presenta cambios.
– Cambios proyectados de la temperatura media anual	Se presenta un aumento de temperatura de hasta 1,25 °C proyectada a 100 años, lo que califica los cambios de temperatura desde bajo, bajo medio y medio, dentro de esas proyecciones.
– Pérdida de glaciares	No hay rango de calificación. Se toma como referencia el porcentaje de transformación del indicador de conflicto de uso el cual reporta un 80,4% de retroceso.
– Tasa de cambio de cobertura arbórea, deforestación (bosque / no bosque)	Se presentan las siguientes perdidas de hectáreas en un periodo de 14 años, en las coberturas: arbustal denso (159ha), bosque denso alto de tierra firme(1.717ha), mosaico de cultivos (511),

	pastos y espacios naturales (854ha), zonas glaciares y nivales (424ha).
– Conflicto de uso del territorio	Las principales presiones que afectan los ecosistemas del parque son los siguiente: Ganadería, Agricultura, Quemas, inundaciones, talas, sequía y turismo no regulado. El ecosistema que reporta la totalidad de su transformación es la selva húmeda tropical, le sigue el glaciar con un 80,4%, bosque andino (4,5) y por último el páramo (1,5)
– Pérdida / degradación de ecosistemas estratégicos	A pesar de no tener claro cómo se calificó este indicador, se reporta que la mayoría de los biomas tienen un nivel de vulnerabilidad alta al cambio climático, a excepción de los bosques húmedos alto andino y subandino, suponiendo que su mayor presión es la transformación del territorio y no el cambio climático.

Fuente: elaboración propia.

4.3 Conclusiones

Como se pudo observar en el modelo conceptual, los Planes de Manejo cumplen el papel principal en el manejo de las amenazas identificadas como transformación de cobertura y el cambio climático, a partir de esto se derivan los Programas de Restauración Ecológica; siendo estos la principal herramienta de las áreas protegidas para poder establecer los aportes de la restauración a la mitigación de GEI, ya si se estructuran de tal forma que cuente con la información necesaria, se puede llevar a cabo la cuantificación de carbono almacenado y equivalente, lo cual aún no ha sido posible porque no se han integrado estos conceptos a los proyectos de restauración ni a sus programas de monitoreo. Por otro lado, respecto a los aportes de la restauración a la adaptación del cambio climático, se encuentra que, estimar los indicadores de adaptación permite establecer los riesgos a los que están expuestos los servicios ecosistémicos y su capacidad adaptativa frente a los cambios de temperaturas y precipitación proyectados, además se encontró que el Plan de Manejo cuenta con información valiosa para la estimación de estos indicadores por lo cual sería ideal la integración de esta información.

Este ejercicio investigativo utiliza las estrategias propuestas por el gobierno como lo son; el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia y el Sistema Nacional de Indicadores de Adaptación del Cambio Climático; cuya finalidad va más allá de obtener un cálculo exacto referente al carbono acumulado en los predios en proceso de

restauración o el cálculo de los indicadores de adaptación; busca incorporar metodologías que aporten al proceso investigativo frente al cambio climático, enfocado en mitigación y adaptación de las áreas protegidas.

En el caso de mitigación, es importante involucrar la metodología implementada en este ejercicio a los sistemas de monitoreo de cobertura, de esta forma se puede hacer seguimiento a los predios en procesos de restauración y establecer las hectáreas recuperadas de manera efectiva; esto es necesario debido a la gran extensión de los predios, lo cual dificulta su monitoreo de forma manual en campo. Como evidencia se encuentra la falta de información referente al seguimiento de los procesos de restauración más antiguos; del único proyecto del que se obtuvieron datos de monitoreo, presentó vacíos de información en algunas especies de individuos plantados, lo que incrementa la incertidumbre de la metodología usada para la estimación de carbono almacenado en los predios en proceso de restauración.

Los valores encontrados en la estimación de carbono acumulado y equivalente de los predios del proyecto financiado por Ecopetrol son una aproximación a lo que se podría obtener en un escenario donde la restauración ya sea efectiva, es decir que haya una recuperación total del ecosistema, por lo que se tomaron los valores de las especies sanas y con mayor evolución de crecimiento para la estimación de carbono y se tomaron parcelas de muestreo de 1 (una) hectárea, para poder extrapolarlo a todo el predio; como resultado se establece que por cada hectárea restaurada se puede almacenar alrededor de 25,9 toneladas de carbono en un ecosistema de paramos, en el que aún debe definirse metodológicamente la estimación de biomasa, según lo establecido por el IDEAM.

Opuesto a lo establecido anteriormente, se realizó la estimación de carbono en un escenario donde se asume que las especies alcanzan un diámetro de 1 cm (anexo c), allí se encontró un carbono almacenado de 0,006 tn/ha, entendiendo que las especies de paramo crecen de forma lenta además de ser de características pequeñas, siendo este el panorama que más se acerca a la realidad actual. Hay que tener en cuenta que la metodología aplicada se establece para especies con un diámetro mayor a 10cm, además no se estableció metodología para biomasa subterránea ya que la biomasa aérea es el principal requerimiento en proyectos forestales, cuyo interés está enfocado en obtener algún incentivo económico otorgado por el gobierno al estar

relacionado a una actividad de conservación de bosques y reducción de emisiones contaminantes (IDEAM- Yepes et al., 2011, p.164). Por falta de información de los proyectos de restauración implementados antes del 2014, no se logra encontrar los datos necesarios para realizar los cálculos en todos los predios en proceso de restauración del AP.

Para el caso del PNN el Cocuy, se encuentra que los procesos de restauración aportan a los procesos de adaptación del territorio, al disminuir la tasa de cambio en la cobertura arbórea, es decir a los procesos de trasformación del territorio, relacionados con las presiones presentes en los ecosistemas del AP, de esta forma preservar y mantener el principal servicio ecosistémico; el agua, ya que uno de los ecosistemas predominantes en el AP son los páramos (51%), considerados como reguladores hídricos.

El indicador de cambio de temperatura establece que el bioma más afectado en este escenario es el glaciar según el IDEAM, donde se reportó que los glaciares en Colombia se han reducido un 60% en los últimos 60 años hasta el 2012 (IDEAM, 2012). En el caso del glaciar Sierra Nevada del Cocuy, desde el periodo de 1850 a 2017 se ha perdido el 91.26% del glaciar es decir 135.7Km^2 (IDEAM, 2018). El régimen climático del área y el análisis prospectivo de este contó con la información disponible en la base de datos de IDEAM a 2017, donde se procesó, analizo y contrastó la información con en los archivos de PNN, realizando una descripción detallada del comportamiento del clima en la zona. De acuerdo con los estudios adelantados por el IDEAM, sobre las proyecciones a 2100, se pudo establecer que el clima en el PNN el Cocuy no tendrá variaciones importantes en lo que hace referencia al régimen de lluvias, sin embargo, los cambios de temperatura proyectados de hasta 1,25 °C puede llegar a alterar esta proyección.

Por el momento los indicadores arrojan cambios muy bajos frente al cambio climático, por lo cual se podría asumir que el AP debe preservar las condiciones actuales del parque relacionado con cobertura y uso del suelo, para conservar lo proyectado en los escenarios de cambio climático. En los indicadores de adaptación no se encuentra un panorama favorable ya que el ecosistema más afectado en cuanto a transformación de cobertura por presiones antropogénicas es la selva húmeda tropical con un reporte del 100% de su transformación, le siguen el bosque andino y el páramo.

Por otro lado, el retroceso del glaciar también contradice lo proyectado en los escenarios de cambio climático. Los glaciares son un indicador de los cambios de temperatura y también cumplen la función de ser reguladores hídricos, por lo que su retroceso desencadena algunas afectaciones en conjunto de los ecosistemas de alta montaña y recurso hídrico. Respecto a lo anterior se concluye que los cambios de cobertura glaciar y para otros ecosistemas son inevitables, por lo que el AP debe prepararse a los cambios que conlleva la alteración del ciclo hídrico, tanto para los procesos de restauración, como para el uso de servicio ecosistémico.

En ese orden de ideas una forma de amortiguar los cambios de cobertura, son las actividades relacionadas a la restauración que permita mantener la integridad ecológica de los ecosistemas que componen el PNN el Cocuy y que se verán afectados por la deglaciación, así mismo aportar información para a la gestión del clima cambiante.

4.4 **Recomendaciones**

- Se recomienda, tener una base de datos con toda la información de las estaciones climatológicas, que facilite el procesamiento y actualización de esta información en futuras investigaciones.
- Debido a la gran extensión de los predios en proceso de restauración, se plantea agregar su localización geográfica a los sistemas de monitoreo de cobertura a nivel nacional, con el fin de tener información del progreso de proyectos implementados antes del 2014.
- El PNN el Cocuy, cuenta con un proyecto de restauración para propagación de especies de paramo (vivero CEPME), el cual ha se ha convertido en un centro de investigación, se aconseja agregar una base de datos con información de altura, densidad de la madera, diámetro de pecho o diámetro a la altura de cuello, debido a que las especies de paramo no siempre cumplen las características de altura de las especies de bosque. Estos parámetros son necesarios para aplicar los diferentes métodos para la estimación de carbono acumulado y equivalente, establecidos en el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia.

- Los Lineamientos Institucionales de Restauración Ecológica Participativa y para afrontar el Clima Cambiante desde las Áreas Protegidas, integran mutuamente los conceptos de restauración, adaptación y mitigación, sin embargo, no hay un paso a paso que permita guiar a los lectores que quieran ejecutar un proyecto que abarque los dos lineamientos. Por lo tanto, se recomienda establecer las distintas metodologías para llevar esto a cabo y un buen punto de partida es el modelo conceptual acá realizado.
- Debido a la gran diversidad de casos que se pueden presentar en el camino de la unión de los dos lineamientos institucionales, es importante establecer un drive o un método donde se puedan recopilar cada uno de los estudios o casos ejecutados, esto con el fin de dar a conocer inconvenientes y lecciones aprendidas en los otros casos de estudio.
- Los proyectos de restauración del PNN el Cocuy han sido ejecutados por entidades privadas, por lo que es importante dar a conocer los lineamientos institucionales a dichas entidades y de esta manera unificar los objetivos conservación establecidos por Parques Nacionales Naturales con los del proyecto financiado. Esta recomendación está basada en que cada entidad privada tiene metodologías y objetivos distintos, lo cual impediría la unión de metodologías de cambio climático y restauración.

Referencias

Departamento Nacional de Planeación, p.9. (2010). CONPES,3680, Lineamientos para la Consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

Puentes Aguilar, J. & García Romero, J. (2018). Lineamiento Institucional De Restauración Ecológica Participativa. PNN.

Subdirección de gestión y manejo, PNN (2016-2020). Lineamiento Institucional para Afrontar el Clima Cambiante desde las Áreas Protegidas.

Puentes Aguilar, J. García Romero, J. & Pérez Suarez, B (2018). Cuarto Informe de Seguimiento a los Procesos de Restauración Ecológica.

IDEAM, Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (2019).http://www.ideam.gov.co/web/sia-cifras/sistema-de-monitoreo-de-bosques-y-carbono.

PNN & IDEAM (2018). Atlas de Carbono de las Áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia Dirección Territorial Andes Nororientales.

MADS & IDEAM. (2017). Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques.

Ministerio de ambiente, The Nature Concervacy, GIZ, WWF, USAID. (2018). Guía de adaptación al cambio climático basada en ecosistemas en Colombia.

Inst. Humbolt y MADS. (2012). Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE).

Ministerio de Ambiente. (2017). Política Nacional de Cambio Climático.

Departamento Nacional de Planeación (2011). CONPES 3700, Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia.

Yepes A.P., Navarrete D.A., Duque A.J., Phillips J.F., Cabrera K.R., Álvarez, E., García, M.C., Ordoñez, M.F. 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 162 p.

Bouroncle C., Rodríguez C.,Florián M., Naswa P.,Lærke S., Olhoff A. (2016). Sistema Nacional de Indicadores de Adaptación al Cambio Climático (SIACC): definición del conjunto de indicadores.

MADS, Historia de Colombia Frente al Cambio Climático (2019).https://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/historia-de-colombia-frente-al-cambio-climatico

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CAN & CILLERÍA. (2017). Resumen ejecutivo. Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Bogotá D.C., Colombia.

PNN- Eraso Paguay, O(Jefe del AP) (2019).Plan de Manejo Parque Nacional Natural Cocuy (2019-2023).

Camacho-Blanco, D., Velasco-Salcedo, V. & Pérez-Suárez B. (2017). Programa de Restauración Ecológica del Parque Nacional Natural el Cocuy 2017-2021. Dirección Territorial Andes Nororientales. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Municipio El Cocuy, Boyacá. Colombia. 65 págs.

PNN. Jaramillo. R. Omar & Latorre, Juan Pablo (2017). Línea Base de Clima en las Áreas Protegidas. Versión 2.

PNN (2013). Asociación de eventos de variabilidad climática con las alteraciones de la precipitación y temperatura promedio mensual en las áreas protegidas de las regiones Nor-Oriente Contrato de Servicios No. PC-CPS-017 de 2013 - Tercer Informe.

Arango, Dorado, Guzmán, Ruiz, J. F. (2012). Cambio Climático Más Probable Para Colombia a lo Largo Del Siglo XXI Respecto al Clima Presente, IDEAM.

IDEAM. 2012. Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo. Bogotá. http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares-colombia

IDEAM. (2018). Superficies glaciares de los nevados colombianos desde 1850 a la actualidad. http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares-colombia

Ecodes.2016. Programa De Monitoreo y Seguimiento De Los Diseños De Restauración Ecológica En El PNN Cocuy.

Ecodes.2014. Restauración Ecológica En El Parque Nacional Natural El Cocuy.

Ecodes.2017. Informe Final De Actividades.

SNIACC- Milton Romero-Ruiz , Natalia Hernandez , Oscar Ocampo , Camila Pacheco , Astrid Pulido , Adriana Sarmiento , Ximena Pajarito , Maria Cristina Vargas , Maritza Florián, Camila Rodríguez , Claudia Bouroncle, Claudia Medellín, Pablo Imbach. (2016). Propuesta de Protocolos de Indicadores Incluidos en el Sistema.

Juan Pablo Latorre Parra, Liliana Gualdrón Díaz & Luisa Corredor Gil. (2019). Monitoreo satelital de las Coberturas de la Tierra y Detección de Cambios en los Parques Nacionales Naturales Continentales de Colombia.

MADS & IDEAM. (2010). Estimación de las reservas actuales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia

Ministerio del Ambiente Ecuador. Nikolay Aguirre M, Jonathan Torres C, Patricia Velasco-Linares. (2013). Guía para la Restauración Ecológica en los Páramos del Antisana.

Juan Rodríguez. (2015). Análisis de la Distribución Espacial de la Precipitación Máxima en 24 Horas en el Parque Nacional Natural el Cocuy. Bogotá D.C