



29, 30 de septiembre y
1 de octubre de 2021
ÁGORA - BOGOTÁ
Centro de Convenciones



**MEMORIAS DEL 64° CONGRESO INTERNACIONAL DE ACODAL: AGUA,
SANEAMIENTO, AMBIENTE Y ENERGÍAS RENOVABLES.**

**SEXAGÉSIMA CUARTA VERSIÓN – 29, 30 DE SEPTIEMBRE Y 1 DE
OCTUBRE DE 2021**



29, 30 de septiembre y
1 de octubre de 2021
ÁGORA - BOGOTÁ
Centro de Convenciones

**64° Congreso
Internacional**
Agua, Saneamiento, Ambiente
y Energías Renovables



ENTIDADES ALIADAS



www.acodal.org.co - congresos.acodal.org.co

**1er Encuentro Nacional de
SECRETARIOS DE AGUA, SANEAMIENTO
Y PLANEACIÓN**

Nelson Castaño Contreras
Michelle Feuillet Guerrero
COMPILADORES



**1er Encuentro Nacional de
SECRETARIOS DE AGUA, SANEAMIENTO
Y PLANEACIÓN**

JUNTA DIRECTIVA

PRESIDENTE JUNTA DIRECTIVA:

Carlos Rufino Costa Posada

VICEPRESIDENTE JUNTA DIRECTIVA:

Manuel Vicente Barrera Medina

MIEMBROS PERSONALES:

Carlos Rufino Costa Posada (p) - Luis Fernando Ramos Parra (s)
Ignacio Restrepo Baquero (p) - Jorge Enrique Ángel Gómez (s)

SECTOR INDUSTRIAL Y COMERCIAL:

O-TEK Central SAS – Sergio Nauffal
Mexichem Colombia SAS PAVCO - Pedro Nel González Escobar

SECTOR DE CONSULTORÍA Y/O INGENIERÍA:

Gestión y Resultados SAS – Geovanis Arrieta Bernate

SECTOR SERVICIOS PÚBLICOS:

-Triple A S.A E.S.P. Jairo de Castro Peña
-Veolia Aguas de Tunja S.A. ESP- Manuel Vicente Barrera Medina

SECTOR UNIVERSITARIO:

Universidad de la Costa CUC – Henry Maury Ardila

VEEDOR:

Manuel Ricardo Ruiz Romero (p) – Iván Montaña Neisa (s)

PRESIDENTE EJECUTIVA:

Carlos Rufino Costa Posada

MIEMBROS SECCIONALES:

Seccional Caribe

Presidente: Néstor Escorcia

Seccional Centro

Presidente: Carlos Andrés Eduardo Villamil

Seccional Occidente

Presidente: Hugo Salazar Jaramillo

Seccional Noroccidente

Presidente: Jaime Laíno Quiceno



29, 30 de septiembre y
1 de octubre de 2021
ÁGORA - BOGOTÁ
Centro de Convenciones



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 64° Congreso Internacional de Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables, evento que se realizó de manera virtual.

ISSN: 2539-0309 (En línea)

Bogotá, 08 de noviembre del 2021.

©©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.





29, 30 de septiembre y
1 de octubre de 2021
ÁGORA - BOGOTÁ
Centro de Convenciones



MEMORIAS DEL 64° CONGRESO INTERNACIONAL DE ACODAL: AGUA, SANEAMIENTO, AMBIENTE Y ENERGÍAS RENOVABLES

SEXAGÉSIMA CUARTA VERSIÓN 29, 30 de septiembre y 1 de octubre 2021

Nelson Castaño Contreras
Michelle Feuillet Guerrero
COMPILADORES



**1er Encuentro Nacional de
SECRETARIOS DE AGUA, SANEAMIENTO
Y PLANEACIÓN**

Contenido

PRESENTACIÓN	6
Análisis de la Problemática Ambiental de la Expansión de los Cultivos Ilícitos en Colombia	7
Evaluación de la remoción de color y turbidez en aguas naturales y aguas con presencia de colorantes catiónicos, mediante un extracto fenólico de pulpa de café	22
Gran Cuenca del Río Teusacá: Análisis Socio-Ambiental para Fortalecimiento de la Gobernanza del Agua	31
Potencial energético de la generación de Biogás a partir de residuos pecuarios en el Departamento del Atlántico.....	38
Formulación de una herramienta tecnológica para la selección de unidades de tratamiento de agua residual para el sector de las curtiembres en Bogotá D.C	48
Energías renovables no convencionales para satisfacer la demanda energética: Análisis de tendencias entre 1990 Y 2018	82
“Optimización del proceso de lodos activados a través del ahorro de energía”	108
El chicle “no es como lo pintan”: determinación del potencial contaminante de las gomas de mascar sobre los cuerpos hídricos.....	128
Análisis del sistema de monitoreo meteorológico para el manejo de los parques nacionales naturales ubicados en el departamento de La Guajira	136
Calidad del agua en ríos urbanos: caso río Fucha – Bogotá D.C.	146
Avances en el análisis de los impactos del uso del suelo sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica suministrados por páramos	154
Importancia de la implementación de negocios verdes orientados a la agricultura en Colombia en el marco del Plan Nacional de Negocios Verdes.....	176
Perfil fisicoquímico, bacteriológico y parasitológico del agua de riego para cultivos de hortalizas en la Sabana de Bogotá	185
Humedal El Burro, un esclarecedor análisis a través del tiempo.....	192
La agricultura circular aplicada en el cultivo de cacao como aporte al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible	199
Generación modelos geográficos de seguimiento por disposición de vertimientos en suelos	207
Procedimientos de Criminalística Ambiental en Investigaciones Asociadas al Recurso Hídrico	215
Evaluación de un reactor biológico aerobio de lecho móvil para el tratamiento de aguas residuales de estaciones de servicio.....	221

PRESENTACIÓN

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – ACODAL, realizó el 64º Congreso Internacional, considerado como el congreso más importante del sector de agua, saneamiento, residuos, ambiente y energías renovables. El evento se llevará a cabo los días 29, 30 de septiembre y 1 de octubre de 2021 en el centro de convenciones ÁGORA de la ciudad de Bogotá.

En esta ocasión se contó con la presencia de representantes de países Aliados como Israel, Corea, España, Estados Unidos, Francia, Hungría y Panamá e instituciones aliadas como Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo, WEF, WERF, IWA, Ministerios, Viceministerios y Comisiones, motivo por el cual los más reconocidos especialistas y empresarios de los sectores académicos, industrial, tecnológico y financiero se darán cita en este evento de calidad excepcional.

A través de espacios bioseguros el Congreso Internacional de ACODAL fué un evento para reencontrarnos y compartir experiencias por medio de una excelente agenda académica, muestra empresarial, tecnológica y comercial con más de 100 stand, la realización de contactos y relación directa con representantes del Gobierno Colombiano, participación en mesas de diálogos sectoriales, asistencia a debates con panelistas internacionales, nuevos conocimientos a través de Workshops y Master Class entre muchas otras oportunidades.

En este documento encontrarán las memorias ISSN 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.

Esperamos, mediante el presente documento, contribuir al desarrollo de la ingeniería y fortalecimiento de la ingeniería.

Análisis de la Problemática Ambiental de la Expansión de los Cultivos Ilícitos en Colombia

Palabras claves

Contaminación, Coca, Cultivos ilícitos, Deforestación, SIG.

Abstract

Colombia gracias a su diversidad geográfica se convirtió en un escenario óptimo para el cultivo de coca. Sin embargo, estos cultivos ilícitos en el país a lo largo del tiempo han causado múltiples desplazamientos incrementando la violencia y contaminando a gran escala el medio ambiente. La Policía Nacional de Colombia y la Dirección de Antinarcóticos son los encargados de controlar la cadena del narcotráfico en el territorio nacional, y junto con la Embajada de los Estados Unidos crean el actual Sistema Integrado de Información y Monitoreo de Antinarcóticos (SIIMA) que se encarga de generar información a través del procesamiento y análisis de imágenes espaciales en tiempo real. Es gracias a esta información respecto al monitoreo permanente que se logró evaluar los cambios antrópicos e ilícitos que se han generado en diversos ecosistemas colombianos. El objetivo de esta investigación es analizar las problemáticas ambientales que genera la expansión y siembra de coca en el país, ya que por lo general estos cultivos se realiza en regiones donde el principal uso del suelo no es compatible con la actividad de siembra ocasionando un desequilibrio tras la quema, deforestación, pérdida y migración de fauna y flora y el uso indiscriminado de sustancias químicas que terminan afectando las fuentes hídricas y el recurso suelo, entre otros.

Introducción

Esta investigación es producto del desarrollo de un trabajo gestado como estudiante de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, en cual nace la posibilidad de elaborar un análisis de la problemática ambiental que resulta de la expansión de los cultivos ilícitos en los últimos años en el país. Para esto se recopiló información relevante en un periodo de tiempo determinado que va desde los inicios del narcotráfico y la implementación de los cultivos ilícitos de coca en Colombia, hasta la actualidad donde se encuentran diferentes bases de datos como el de la Policía Nacional de Colombia y la Dirección de Antinarcóticos DIRAN, quienes a través de múltiples herramientas que conforman el Sistema Integrado de Información y Monitoreo Antinarcóticos- SIIMA proporcionan información nacional

en tiempo real y de manera eficiente, además del observatorio de drogas de Colombia y la oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito quienes generan información de manera pública, siendo así parte del materiales recopilado diversos reportes, informes, monitoreos, entre otros.

Planteamiento del problema

Los cultivos de coca solo hacen parte de un porcentaje de múltiples factores que inciden dentro de las problemáticas ambientales. En la actualidad las cifras respecto al número de hectáreas de cultivos ilícitos presentes en el país son establecida por diferentes organizaciones que utilizan distintos procesos para llevar a cabo la recolección e interpretación de datos. Sin embargo, la producción de coca implica además la adecuación de terrenos, creación de laboratorios, generación de residuos peligrosos, entre otros factores a considerar.

Objetivos específicos

- Sintetizar las problemáticas ambientales relacionadas con la expansión de cultivos ilícitos en Colombia.
- Reconocer la participación de la Policía Nacional de Colombia en la erradicación de los cultivos de ilícitos de coca en el país.

Objetivo general

- Identificar el proceso de los cultivos ilícitos en Colombia con el fin de determinar la contaminación causada en cada etapa implicada.

Metodología

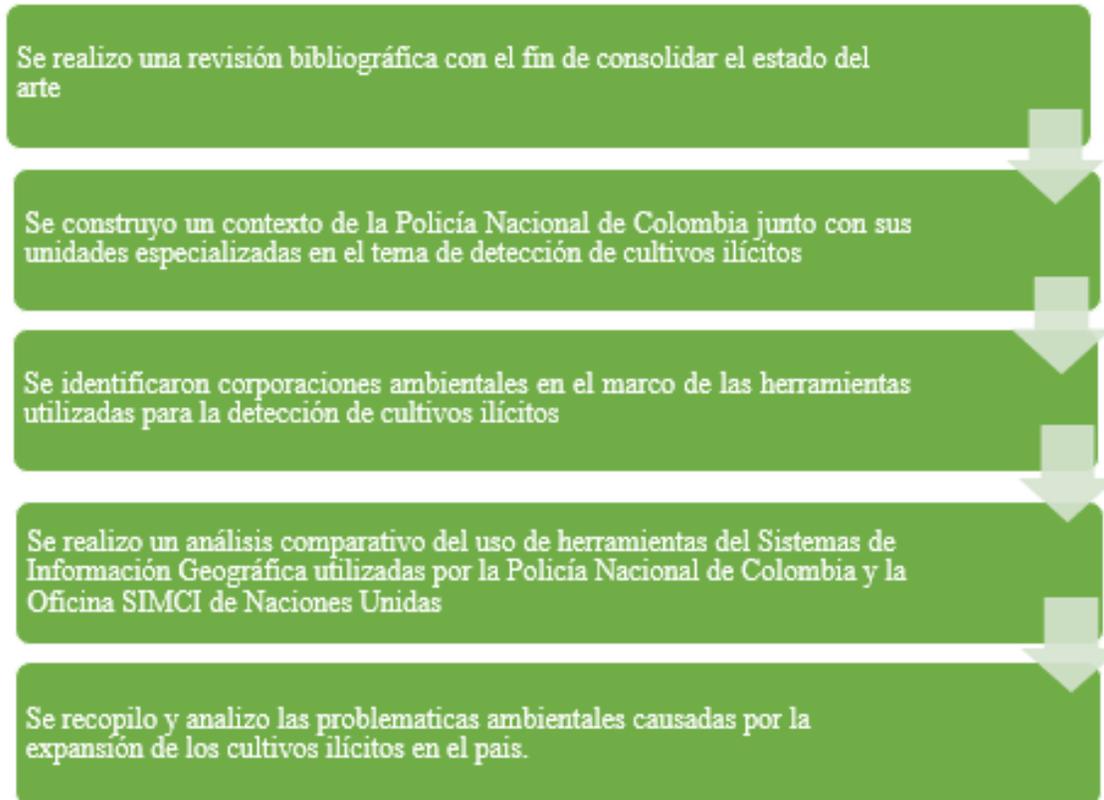


Figura 1. Metodología
Fuente: Autor propio

Antecedentes y problemáticas de cultivos ilícitos

Colombia ha sido un país que durante un largo periodo de tiempo a atravesado múltiples eventos relacionados con las actividades ilícitas, de aquí surge la necesidad de llevar a cabo estrategias de lucha contra el narcotráfico, estas funciones son desarrolladas por la Dirección de Antinarcóticos de la Policía Nacional las cuales actúan como un grupo de investigación, identificación y erradicación de cultivos ilícitos, apoyados en la normativa legal vigente para Colombia.

En el año 1980, como consecuencia de la situación de violencia en la que se encontraba Colombia, debido a la influencia del narcotráfico, este como fuente de financiación de guerrillas y como negocio de carteles y mafias, se proyectó la creación de la Policía Antinarcóticos, la cual se concretó a través de la Resolución 2743 del 28 de abril de 1981, con el nombre de Policía de Control de Sustancias que producen adicción física o psíquica, vinculada a la Dirección Operativa (González,2017).

Con el Decreto 423 del 3 de marzo de 1987, se agrupa el Servicio Especializado de la Policía de Control de Sustancias que Producen Adicción Física y Síquica y el Servicio Aéreo de la Policía y quedan dependiendo de la Dirección General de la Policía Nacional, estableciéndose funciones y estructuras mediante la Resolución 1050 del 9 de marzo de 1987 que le da la denominación de Dirección de Antinarcóticos -DIRAN- (Policía Nacional de Colombia, 2017.,d).

En Colombia, se presentan avances importantes en la reducción del área sembrada y el potencial de producción de cocaína; del récord histórico alcanzado en el 2000 con 163 mil hectáreas sembradas, se redujo a 64 mil hectáreas en 2011 y 48 mil hectáreas en 2012. No obstante, algunas zonas del país mostraban relativa estabilidad y en alguna medida persistencia de la problemática a pesar de los esfuerzos para su control (ODC,s.f).

Historia del narcotráfico en Colombia

El narcotráfico en las últimas décadas ha sido para Colombia un constante fenómeno que ha dejado a su paso muerte, corrupción, terrorismo, entre otros. En Colombia el negocio del narcotráfico logró desarrollarse a gran escala en comparación con otros países de Latinoamérica debido a las condiciones de desigualdad que ha venido marcando la economía y los hilos socioculturales del país.

La falta de una política económica y de cambio centralizada en el Estado hizo que la extracción aurífera concentrará aún más la riqueza en el sector privado, quien en adelante dominaría, gracias a los excedentes y el manejo interno del oro, los demás renglones de exportación, como el tabaco, el café y las manufacturas (Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

La primera generación del narcotráfico se ubica entre los años 1960 -1970, época en la cual el consumo de marihuana se encontraba en aumento de la mano de diferentes movimientos contraculturales, lo que llevo a despertar el interés hacia el negocio ilícito del narcotráfico en el país, especialmente por aquellas familias dedicadas al contrabando.

Lo anterior, produjo la transición de clanes familiares del contrabando, a clanes familiares marimberos, quienes a través de organizaciones primarias establecían rutas marítimas que interconectaban a Norte y Centro América y estas a su vez, se desplegaban hacia la zona norte de Colombia. A partir de este momento, inicia el tráfico de marihuana directamente desde La Guajira, generando prosperidad económica para estos clanes familiares en la región (Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

Alrededor de los años 1980 y 1990 aparecen en las ciudades Medellín, Cali y la Costa personajes como Pablo Emilio Escobar Gaviria, Gonzalo Rodríguez Gacha, el clan de los hermanos Ochoa Vásquez y los Rodríguez Orejuela, creadores de los denominados carteles del narcotráfico y el expendio de cocaína. Estos a su vez implantaron nuevas modalidades producción y diferentes estrategias para el tráfico de drogas.

Tras la captura y muerte de los cabecillas para lo finales del año 90, los asentamientos surgieron en el Valle del Cauca y con esto nuevos carteles.

Resultados y discusión

Análisis de problemática ambiental de expansión de cultivos ilícitos en los últimos años

Los efectos principales se pueden resumir así: Intervención de ecosistemas estratégicos, adelgazamiento de cobertura vegetal, extinción de especies endémicas, disminución de áreas naturales, deterioro de cuerpos de agua y reducción de su capacidad reguladora, decadencia de calidad de agua por degradación física, química o biológica, alteración del régimen de lluvias y clima local e incremento de CO₂ (Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

No solo la plantación de coca se ve involucrada en el deterioro ambiental, esta actividad ilícita trae consigo la reconstrucción de la infraestructura original, la adecuación de bodegas y en algunos casos la construcción de vías de acceso propio o rutas para la mercancía, como lo es el caso de los aeródromos, todas estas modificaciones en el ambiente son las causantes de las diferentes problemáticas ambientales que generan la expansión de cultivos ilícitos en Colombia.

La deforestación es una de las principales causa que trae consigo la siembra de coca, estos cultivos se presentan generalmente en regiones donde su principal uso del suelos no es compatible con actividades de siembra, gran parte de áreas donde se ha implementado los cultivos anteriormente contaban con fauna y flora de tipo endémica; o bien un componente fundamental en la estructura de los ecosistemas propios del lugar, que terminar siendo gravemente fracturado incluso después de

suspender las actividades de siembra, pues generalmente cuando se abandona un área de cultivo, la actividad que le siguen son tipo ganadera. El momento que se realiza la deforestación incrementa las quemas, debido a que no se realiza un aprovechamiento de la madera por el trabajo y tiempo que este implica, por lo cual se opta por quemar como método de eliminación de los “residuos vegetales”.

Deforestación

En el año 2017, la deforestación asociada a cultivos de coca en Colombia representó el 24% del total deforestado en el país. Es decir, por cultivos de coca se deforestan 137 hectáreas diariamente de bosque natural colombiano, que equivalen a 161 canchas de fútbol con coca en ecosistemas estratégicos. Esta deforestación asociada a cultivos de coca tiene impactos relacionados con la pérdida y migración de la fauna y flora de estos bosques, pérdida de estos suelos y aumento de la erosión y desertificación, y el consecuente incremento de deslizamientos, avalanchas y demás desastres asociados en el país. (Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

Según el IDEAM, los cultivos de uso ilícito como causa directa generan tala de coberturas boscosas (generalmente bosques primarios) y quema indiscriminada de estos. Además, afectan las condiciones fisicoquímicas del suelo y contaminan los recursos hídricos debido a los abundantes insumos que estos requieren en zonas selváticas de suelos poco productivos (González et al., 2018).

Cuando se deforesta en busca de nuevos terrenos para la siembra de cultivos ilícitos de coca, aumenta la transformación de los sitios en rastrojos y pastizales, lo que a su vez lleva a que la riqueza biológica de cada sitio disminuya notablemente, desplazando de manera forzosa a los organismos que la habitaban inicialmente o causando su muerte. El narcotráfico en Colombia a generado que los acuerdos que se realizan a nivel global se vean obstaculizados debido a las acciones ilegales que se realizan dentro del país, como lo es en el caso puntual de los acuerdos ambientales en los que participan la gran mayoría de países del mundo, según el libro COCA: Deforestación, contaminación y pobreza, la deforestación representaba casi el 40% de las emisiones totales de Colombia en 2014 y en el 2017 se emitieron 141 millones de toneladas de Gases Efecto Invernadero asociadas a dicha deforestación.

A continuación, observamos imágenes referentes a la quema y deforestación del país.

CADA HECTÁREA DE LOS ECOSISTEMAS MAS BIODIVERSOS DEL PLANETA, DESTRUIDA PARA SEMBRAR CULTIVOS ILÍCITOS, TARDARÁ ENTRE 50 Y 150 AÑOS, SOLAMENTE PARA RECUPERAR SU COBERTURA VEGETAL.



Figura 2. Quema y deforestación
Fuente: (Bernal, H. 2007)

Los daños causados al ambiente por la deforestación e incineración de la cobertura vegetal para dedicarlo a la siembra de cultivos ilícitos causan daño a las cuencas hídricas, la producción de agua superficial y el hábitat de un sinnúmero de especies de flora y fauna, además, de impedir la conservación del suelo. Una vez queda clareada un área, aumenta la incidencia de los rayos solares sobre el suelo, haciendo que la humedad se mantenga menor tiempo, también se produce mayor calentamiento directo, lo cual contribuye al aumento de la temperatura local y a la reducción de la humedad relativa del aire. (Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

Laboratorios de procesamiento

Para la extracción de los principios activos, se deben acondicionar zonas selváticas aledañas a los cultivos, para la construcción de los laboratorios de procesamiento, extracción y transformación de drogas ilícitas; el procesamiento se realiza in situ (Torres Llerena, 2016).

El proceso de transformación de la hoja de coca a base de cocaína actualmente se realiza en las 'cocinas o laboratorios rústicos', que se encuentran en los mismos lotes empleadas para el cultivo, los laboratorios rústicos se pueden definir como, construcción sencilla conformadas por una o dos partes, generalmente de madera, techos de zinc o plástico. Estos laboratorios (cocinas) se encuentran ubicados cerca de los cultivos de arbusto de coca. Los elementos usualmente hallados son recipientes plásticos y metálicos, canales de zinc, mesas de filtrado (para escurrir el alcaloide), guadañadora y sustancias químicas de fácil adquisición (Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

A continuación, se muestran según la Dirección de Antinarcóticos junto con el Centro Internacional de Estudios Estratégicos Contra el Narcotráfico (CIENA), las cinco fases que tiene el proceso químico para la producción de base de coca.



Figura 3. Proceso de obtención de base de coca y refinamiento a clorhidrato de cocaína

Fuente: Dirección de Antinarcóticos - CIENA. Ricardo Rocha García. Marzo 2014

Contaminación del suelo a causa de los residuos generados en los laboratorios de procesamiento

El procesamiento para la obtención de coca involucra una gran cantidad de pasos previos dentro de los cuales se incluye la construcción de nueva infraestructura; como para el caso puntual de la elaboración de los laboratorios, las actividades que ahí se realizan generan una gran cantidad de efectos negativos hacia el medio ambiente. Los residuos que se producen se vierten sobre el suelo, ocasionando cambios en su composición, debido a las reacciones químicas que se presentan entre los remanentes y desechos de estos procesos con sus minerales, modificándolos y haciéndolos más solubles. Por ejemplo, en las etapas de procesamiento de hoja se utilizan notables cantidades de sustancias precursoras como permanganato de potasio, la gasolina, solventes orgánicos y otros compuestos, para la obtención del clorhidrato de cocaína.

Algunos solventes son reutilizados, pero su destino final son los suelos y fuentes de agua, aquí los macronutrientes presentes en la materia orgánica se ven fuertemente amenazados por su degradación con poderosos oxidantes utilizados en estos

procesos, muchos de los cuales producen cambios extremos de pH, modificando el componente microbiológico y la disponibilidad de nutrientes a las plantas. (Torres Llerena, 2016., & Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

Cada una de estas sustancias actúa de maneras diferentes rompiendo con el equilibrio del suelo. En un estudio realizado por el Ingeniero Torres Llerena, se logra evidenciar de manera individual como afecta cada sustancia al suelo.

En primer lugar, el permanganato de potasio ($KMnO_4$) es un compuesto químico con un alto poder oxidante que ataca todo lo que es susceptible de oxidación, especialmente la materia orgánica, todo este equilibrio dinámico se ve amenazado por la acción de este químico, que, al combinarse con el ácido sulfúrico, le amplifica su poder oxidante, degradando la materia orgánica. También se encontró que uno de los insumos que más contribuye con la modificación del pH del suelo es el óxido de calcio (CaO) utilizado en la extracción de cocaína base. Estos desechos, junto con los fragmentos vegetales ya procesados, se vierten directamente sobre el suelo con grandes cantidades de $Ca(OH)_2$.

Por último, cuando los solventes orgánicos penetran en el suelo, aíslan las raíces en su desempeño para la absorción de oxígeno y nutrientes; entre más pesado sea el solvente, la presión de vapor será menor, lo que magnifica el problema de contaminación, puesto que los más pesados permanecen por tiempos más prolongados en los sitios donde se han depositado (Torres Llerena, 2016).

Contaminación del recurso hídrico a causa de los cultivos y laboratorios de procesamiento de coca

Las fuentes de agua son indispensables para las labores de extracción, lavado de utensilios y disposición de desechos; es así como ríos, lagos y quebradas son utilizados por estos “laboratorios clandestinos para el procesamiento de drogas”. Además, los compuestos de estos desechos, por lixiviación terminan en las fuentes hídricas, alterando su pH, lo que incide negativamente sobre el plancton y toda la cadena trófica (Torres Llerena, 2016).

En el establecimiento de estos cultivos se han modificado los cauces, se han dispuesto diques que han secado las partes bajas de los cursos de agua y se han drenado lagunas y humedales. Así mismo, según datos de la Dirección Antinarcóticos de la Policía Nacional, la cocaína genera vertimientos derivados de residuos de mínimo 3,5 toneladas por hectárea al año de sustancias químicas que afectan los suelos y el agua.

Como tal el cultivo de coca se planta cerca de las corrientes de agua en esas condiciones, el suelo que se erosiona dentro del cultivo de coca termina siendo transportado por la escorrentía superficial a los cauces. Como consecuencia, ocurre un aumento en la carga de sólidos suspendidos en los sistemas lénticos y lóxicos y las partículas suspendidas en el agua aumentan la turbidez y con ello, al interrumpir la entrada de luz, limitan la productividad primaria (a cargo de algas verdes) y

consecuentemente se reduce la productividad secundaria, reflejada en una menor oferta de peces (proteínas) para las comunidades locales, grupos étnicos y fauna que dependen de esas fuentes (Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

Los peces dependen de microorganismos acuáticos para su alimentación y de adecuados niveles de oxígeno disuelto para respirar; al ser eliminados los microorganismos, los peces tienden a disminuir en cantidad de especies y en el número de sus poblaciones. También puede suceder el caso opuesto, en el que el abuso de fertilizantes genera una producción tan alta de microorganismos y algas (eutrofización) que no permiten la adecuada aireación del agua, haciendo que la mayoría de los peces perezcan por anoxia. Todo esto significa un desmejoramiento en la calidad de esos recursos, su paisaje asociado, y en la calidad de vida, alimentación y salud de la población. Como se puede inferir de la lectura, una gran cantidad de residuos de toda la gama de xenobióticos son introducidos en altas concentraciones al entorno y terminan inexorablemente en los cuerpos de agua, ligados a las partículas del suelo y en el peor de los casos, acumulados y magnificados a través de las cadenas tróficas. Es en este punto, que la presión sobre el hábitat, no solamente se circunscribe al área del cultivo, sino que es exportada a todo el ecosistema. Un informe preparado por la Dirección Nacional de Estupefacientes y Sección de Asuntos Narcóticos mostró que el 98.7% de los cultivadores utilizan insecticidas y fungicidas para controlar las plagas y enfermedades; el 92.5% aplica fertilizantes químicos y el 95.5% controla la competencia de otras plantas con herbicidas. Es evidente la dependencia de los agricultores de coca por la rutina de plaguicidas que tienen un alto grado de toxicidad; este riesgo se acrecienta en la medida que atesora la idea errónea de "...entre más concentración y toxicidad del agroquímico, mayor es la efectividad...". De ahí, que las dosificaciones utilizadas no se ajustan con las recomendadas por la casa fabricante ni con el requerimiento del cultivo. Muy típico, entonces, encontrar cultivos como plátano, maíz, yuca, café, cacao o palma mezclados o alternados con plantaciones de coca en donde se realiza un control químico sin distinción de variedad vegetal.

También puede reducir las fuentes de agua en los valles donde hay zonas gravemente deforestadas, debido al escurrimiento de las aguas subterráneas y a la mayor sedimentación de los arroyos. Incluso los terrenos cultivados con coca son propensos a la erosión, pues estas plantas perennes no son tan efectivas como el Bosque tropical para absorber agua y mantener el suelo en su sitio. Además, las copas de los árboles amortiguan el impacto de las gotas de lluvia (Subdirección de Asuntos Regionales y Erradicación Dirección Nacional de Estupefacientes, 2004).

Impacto ambiental a causa de la expansión de cultivos ilícitos en los últimos años

Los efectos principales se pueden resumir así: Intervención de ecosistemas estratégicos, adelgazamiento de cobertura vegetal, extinción de especies endémicas, disminución de áreas naturales, deterioro de cuerpos de agua y reducción de su capacidad reguladora, decadencia de calidad de agua por degradación física, química o biológica, alteración del régimen de lluvias y clima local e incremento de CO₂. (Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

No solo la plantación de coca se ve involucrada en el deterioro ambiental, esta actividad ilícita trae consigo la reconstrucción de la infraestructura original, la adecuación de bodegas y en algunos casos la construcción de vías de acceso propio o rutas para la mercancía, como lo es el caso de los aeródromos, todas estas modificaciones en el ambiente son las causantes de las diferentes problemáticas ambientales que generan la expansión de cultivos ilícitos en Colombia.

La deforestación es una de las principales causa que trae consigo la siembra de coca, estos cultivos se presentan generalmente en regiones donde su principal uso del suelos no es compatible con actividades de siembra, gran parte de áreas donde se ha implementado los cultivos anteriormente contaban con fauna y flora de tipo endémica; o bien un componente fundamental en la estructura de los ecosistemas propios del lugar, que terminar siendo gravemente fracturado incluso después de suspender las actividades de siembra, pues generalmente cuando se abandona un área de cultivo, la actividad que le siguen son de tipo ganadera. En el momento que se realiza la deforestación incrementa las quemas, debido a que no se realiza un aprovechamiento de la madera por el trabajo y tiempo que este implica, por lo cual se opta por quemar como método de eliminación de los “residuos vegetales”.

Según Bernal, H. el método más utilizado es la tala y/o quema de miles de hectáreas de bosques, acciones que ejercen drásticos efectos sobre los ecosistemas, entre los que se destacan los siguientes:

Destrucción de nichos ecológicos y cadenas tróficas.

- Destrucción de los microorganismos con su potencial genético.
- Erosión edáfica, se destruye la textura y estructura de los suelos.
- Destrucción de cobertura vegetal nativa.
- Alteraciones en los regímenes de lluvias y clima local, al destruir la cobertura vegetal se incide sobre la pluviosidad, humedad relativa y en general sobre el clima.
- Aumento considerable de emisiones de CO₂ puesto que su principal regulador es la biomasa de los bosques tropicales.
- Desaparición de bellezas escénicas y paisajísticas.
- Extinción de especies endémicas.
- Deterioro de nacimientos de agua.

En el año 2017, la deforestación asociada a cultivos de coca en Colombia representó el 24% del total deforestado en el país. Es decir, por cultivos de coca se deforestan 137 hectáreas diariamente de bosque natural colombiano, que equivalen a 161 canchas de fútbol con coca en ecosistemas estratégicos. (MADS,2017). Los cultivos se instalan generalmente en sitios estratégicos, alejados de las partes urbanas, comerciales o capitales de país, es por lo que recurren a zonas boscosas. Según el Ranking mundial de biodiversidad, es importante resaltar que Colombia ocupa el primer lugar en especies de aves y orquídeas, el segundo en el mundo en riqueza de plantas, anfibios, mariposas y peces de agua dulce, tercer país en número de especies de palmas y reptiles, y ocupa el cuarto lugar en mamíferos (HUMBOLDT,2017). Las actividades ilícitas exponen constantemente a la fauna del lugar a abandonar su hábitat a causa de su destrucción, lo que acelera su riesgo de extinción. La primera acción para la implementación de un cultivo consiste en la deforestación de la flora nativa, en la mayoría de los casos bosques primarios, donde nunca había existido actividad humana.

Impacto en el componente suelo a causa de los cultivos ilícitos de coca

El suelo proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, su desarrollo y la permanencia de los diferentes ecosistemas. Sin embargo, en los cultivos ilícitos de coca se realizan procesos de deforestación, según la *Auditoría Ambiental para la Erradicación de Cultivos Ilícitos en DNP 1996; DNP, 1997; Ministerio de Agricultura, 1997* para la siembra de 1 hectárea de coca se deforestan 2 de bosque, es en este proceso donde se ven afectados los ecosistemas debido a una alteración en los ciclos biogeoquímicos por la pérdida de cobertura vegetal, entre otros (es importante resaltar que los suelos que permanecen desnudos están expuestos a la erosión). Como no hay aporte de nutrientes al suelo ni por el mantillo, ni por el lixiviado de las hojas ni por escurrimiento por el tronco, a los 3 o 4 años, la fertilidad del suelo queda agotada, si no se hacen aporte de fertilizantes (Matteucci, S. D., & Morello, J, 2001). Además, Los suelos tropicales sobre los que se establecen los cultivos de coca son principalmente de los grupos de Ultisoles y Oxisoles (Orinoquia, Amazonia), los cuales están clasificados como suelos pobres en nutrientes (cationes, fósforo y nitrógeno) y poseen una antigua historia geológica de meteorización que los asocia a niveles considerables de arcillas con cierta saturación de aluminio y acidez. Estas características hacen que el establecimiento de cultivos de coca en suelos sin una vocación agrícola demande el uso de grandes cantidades de fertilizantes y correctores de pH del suelo para mantener la producción. La consecuencia inmediata de su uso de este tipo de sustancias conlleva a la contaminación de cuerpos de agua por proceso de escorrentía e infiltración en los suelos. (Roa Castañeda., Núñez Dueñas, 2014).

Es común encontrar que los grupos al margen de la ley empleen de manera indiscriminada diferentes químicos en los suelos con el fin de mejorar la capacidad

de producción en los cultivos ilícitos, esto lleva a la contaminación directa del suelo y a su vez contamina los cuerpos de aguas cercanos mediante escorrentías, sin embargo no solo el uso de plaguicidas y pesticidas es responsable de la contaminación, a esto también se le atribuye la construcción y desmonte de los laboratorios y la incorrecta disposición de residuos. Uno de los mayores retos en la actualidad sigue siendo la recuperación en suelos que han sido contaminados, por una parte, por los largos periodos de tiempo de restauración y por los altos costos que esto implica, aunque esto es proporcional al tamaño de hectáreas afectadas, según Matteucci y Morello cuando la fertilidad del suelo se ha agotado; a una escala menor a una hectárea, es necesario dejar descansar el suelo de 10 a 100 años.

Conclusiones

Según los resultados encontrados se concluye que la Policía Nacional de Colombia desde los inicios del narcotráfico y la presencia de estupefacientes en el país, siempre ha tenido una participación relevante y progresiva con el paso del tiempo en cuanto a su organigrama como institución y en los procesos de intervención que se aplican para la erradicación de cultivos ilícitos. Sus múltiples subdirecciones permiten además que se lleven a cabo procesos de prevención e investigación, que resultan ser de suma importancia en la lucha contra los cultivos de coca y el progreso para el país. Además, las alianzas estratégicas que la unidad de antinarcóticos ha empleado, han logrado consolidar y potencializar al programa de erradicación de cultivos ilícitos gracias a el financiamiento, los insumos y las capacitaciones.

Se concluye que llevar un sistema integrado de información y de monitoreo respecto a los cultivos ilícitos de coca en el país, no solo logra un registro en tiempo real contra la lucha de los cultivos ilícitos, sino también aporta en la medición de áreas y conservación del medio ambiente con los procesos puntuales como lo son la de deforestación y la minería ilegal. Además, se logró evidenciar como las herramientas y softwares que maneja la policía están altamente capacitadas para generar datos de manera precisa, confiable y en el menor tiempo posible, datos que sirven como base para la toma de decisiones importantes.

Ambientalmente se logró concluir, como los cultivos ilícitos de coca en el país son grandes generadores de deforestación debido a todo el proceso que implica la preparación de las áreas asignadas para los cultivos, la instalación de los laboratorios y la inadecuada disposición de sus residuos juntos con el indiscriminado uso de sustancias químicas que terminan afectando las fuentes hídricas y el recurso suelo directamente. Además, un cultivo de coca implica más que la siembra de esta, en la adecuación de los terrenos, la construcción de las vías y acceso y el abandono de los lugares también se ocasiona una severa contaminación.

Bibliografía

- Bernal, H. (2007). Generadores de impacto ambiental de los cultivos ilícitos y de la extracción y refinamiento de alcaloides. Subdirección Estratégica y de Investigaciones–Dirección Nacional de Estupefacientes, Bogotá, 22. *Recuperado de:* http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Fumigas/Generadores_de_impacto_Ambiental_DNE.pdf
- Departamento Nacional de Planeación - DNP. (1994). Programa de desarrollo alternativo. Documento Conpes 2734 Dnp-Uda-Ujs- MinJusticia y del Derecho, MinAgricultura y Desarrollo Rural, PNR, Dirección Nacional de Estupefacientes, Consejería Presidencial para la Política Social. Santafé de Bogotá D.C.
- Departamento Nacional de Planeación – DNP (1996). Política de Bosques. Documento Conpes 2834 Ministerio de Ambiente Dnp: UPA. Santafé de Bogotá D.C.
- Embajada de los EE.UU. en Colombia (s.f). Sección de Asuntos Antinarcóticos y Aplicación de la Ley (INL). *Recuperado de:* <https://co.usembassy.gov/es/embassy-es/bogota-es/sections-offices-es/seccion-de-asuntos-antinarcoticos-y-aplicacion-de-la-ley-inl/>
- González, J., Cubillos, A., Chadid, M., Cubillos, A., Arias, M., Zúñiga, E., ... Berrío, V. (2018). Caracterización de las principales causas y agentes de la deforestación a nivel nacional período 2005-2015. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Programa ONU-REDD Colombia.
- HUMBOLDT,(2017). *Biodiversidad colombiana: números para tener en cuenta*. Boletín de prensa. *Recuperado de:* <http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1087-biodiversidad-colombiana-numero-tener-en-cuenta>
- IDEAM (2019). Resultados Monitoreo de la Deforestación 2018. Bogotá D.C. *Recuperado de:* http://www.ideam.gov.co/documents/24277/91213793/Actualizacion_cifras2018_FINALDEFORRESTACION.pdf/80b719d7-1bf6-4858-8fd3-b5ce192a2fdc
- Instituto Geográfico Nacional, Sistema de Información Geográfica Nacional. (s.f). *Teledetección.* *Recuperado de:* <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>
- MADS,(2017). *Recuperado de:* <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4264-minambiente-llamo-la-atencion-sobre-impactos-de-cultivos-ilicitos-en-bosques-de-colombia#:~:text=bosques%20de%20Colombia-,Minambiente%20llam%C3%B3%20la%20atenci%C3%B3n%20sobre%20impactos%20de%20cultivos%20il%C3%ADcitos%20en,deforestaci%C3%B3n%20causada%20por%20cultivos%20il%C3%ADcitos.&text=En%20el%20a%C3%B1o%202017%2C%20la,total%20deforestado%20en%20el%20pa%C3%ADs.>

- Matteucci, S. D., & Morello, J. (2001). Aspectos ecológicos del cultivo de la coca. *Revista Encrucijada*, 1(8), 82-91. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Silvia_Matteucci/publication/237828433_Carrera_Interdisciplinaria_de_Especializacion_de_Postgrado_en_la_Problematika_del_Uso_Indebido_de_Drogas_Modulo_Aspectos_historicos_antropologicos_socioeconomicos_culturales_y_ecologicos/links/54bfa0390cf2acf661ce1e7e.pdf
- Resolución N°00593. República de Colombia Ministerio de Defensa Nacional, Colombia, 01 de marzo de 2010. Recuperado de: http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Legislacion_tematica/Resolucion%20No.%2000593%20del%20010310%20ESTRUCTURA%20ORGANICA%20DIRAN.pdf
- Roa-Castañeda, J. J., & Núñez-Dueñas, J. (2014). *Coca: Deforestación, contaminación y pobreza*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.odc.gov.co/Portals/1/publicaciones/pdf/oferta/estudios/OF5022014-coca-deforestacion-contaminacion-pobreza.pdf>
- Robles González, L. F., Ruiz Carreño, A. D., & Sandoval Herrera, A. J. (2017). *La insurgencia en Colombia y las acciones en contra de dichos grupos por parte de las direcciones: Dicar y Dirán; así como sus antecesores* (Doctoral dissertation). Recuperado de: <http://168.227.244.104:8080/bitstream/handle/123456789/1212/3006ROBLES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres Llerena, H. (2016). Narcotráfico, insumos y medio ambiente: una visión ambiental desde la química al procesamiento de drogas ilícitas. *INGENIO. Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre*. 34-45. Recuperado de: <http://www.unilibre.edu.co/bogota/pdfs/2017/ingeniolibre/marzo/narcotrafico-insumos-y-medio-ambiente-una-vision-ambiental-desde-la-quimica-al-procesamiento-de-drogas-ilicitas.pdf>
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC)-Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI), Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2018 (Bogotá: UNODC-SIMCI, 2019). Recuperado de: https://www.unodc.org/documents/colombia/2019/Agosto/Informe_de_Monitoreo_de_Territorios_Afectados_por_Cultivos_Illicitos_en_Colombia_2018.pdf
- ONUDC,(2013).Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos - SIMCI. ONUDC.org. Recuperado de: <https://www.unodc.org/colombia/es/simci2013/proyecto6.html>
- Policía Nacional ,(s.f.,a). Dirección de Antinarcóticos de la Policía Nacional -DIRAN. Recuperado de : <https://www.policia.gov.co/direcciones/antinarcoticos>
- Policía Nacional, (s.f.,b). Misión, visión, mega, valores, principios y funciones. Recuperado de: <https://www.policia.gov.co/mision-vision-mega-principios-valores-funciones>
- Policía Nacional , (2010,c). MANUAL DE ANTINARCÓTICOS PARA LA ERRADICACIÓN MANUAL DE CULTIVOS ILÍCITOS. Recuperado de: http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Cifras_cuadro_mamacoca/34.pdf

Evaluación de la remoción de color y turbidez en aguas naturales y aguas con presencia de colorantes catiónicos, mediante un extracto fenólico de pulpa de café⁺

K.G. Machado¹, Y.N. Romero¹, L.R. Palomino^{2*}

⁺PIC-ING-3384 (2021) Vicerrectoría de Investigaciones. Universidad Militar Nueva Granada.

¹Estudiantes de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada.

²Ph.D., Programa de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada.

*Autor corresponsal: Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Km 2 vía Cajicá Zipaquirá, Cajicá, Cundinamarca. Colombia. Email: lady.palomino@unimilitar.edu.co

Resumen

En este trabajo de investigación se utilizaron extractos de pulpa de café para evaluar su efectividad en la remoción de turbidez y color en diferentes tipos de agua. Un extracto acuoso se utilizó como biocoagulante en aguas naturales y un extracto etanólico se usó con el fin de remover el color en agua sintética con presencia de colorantes catiónicos mutagénicos. La experimentación permitió observar que, el extracto acuoso de pulpa de café no fue efectivo como biocoagulante, mientras que con la adición de extracto etanólico a diferentes condiciones de pH se presentó remoción de azul de metileno hasta un 37%. Estos resultados son bastante prometedores y requieren la continuidad de la investigación, con el fin de establecer parámetros óptimos en el proceso de decoloración de aguas mediante extractos naturales.

Palabras clave: Extracto fenólico, colorantes catiónicos, test de jarras, calidad del agua, turbidez.

Abstract

We employed coffee pulp extracts to evaluate their effectiveness in removing turbidity and color in different types of water. Aqueous extract coffee pulp was used as a biocoagulant for natural waters and an ethanolic extract was used to remove the color in synthetic water with the presence of mutagenic cationic dyes. In this study, we confirmed that aqueous coffee pulp extract was not effective as a biocoagulant, while with the addition of ethanolic extract at different pH conditions, removal of methylene blue was presented up to 37%. These results are quite promising and require continuity of research, to establish optimal parameters in the water bleaching process using natural extracts.

KeyWords: *phenolic extracts, cationic dyes, jar tests, water quality, water turbidity.*

Introducción

La calidad del agua es una preocupación creciente a nivel mundial, debido a que las fuentes de agua potable están bajo la amenaza creciente de la contaminación. El aumento de las actividades antropogénicas, así como el crecimiento demográfico, y la falta de medidas y programas para dar respuesta a dichos cambios, favorece el avance de la contaminación del planeta (Sánchez et al., 2011). La contaminación del agua se traduce en problemas de salud pública, que afectan al ambiente natural en general, a los animales y a los seres humanos, presentándose enfermedades como el cólera, la hepatitis, la disentería, la gastroenterocolitis, entre otras. (Gómez, O., 2018).

Por otra parte, los colorantes utilizados en distintas actividades industriales, principalmente en la industria textil, generan los mayores impactos en el medio ambiente (Arrieta et al., 2018). Uno de los principales problemas de este tipo de aguas residuales, es la estructura molecular compleja de los colorantes, pues debido a su origen sintético son más estables y difíciles de biodegradar, esto es debido a que presentan la misma carga que los coagulantes usados en los tratamientos de agua y en consecuencia se produce una repulsión entre ambos (Yuzhu, F., 2001).

El proceso de tratamiento de agua involucra diferentes operaciones unitarias como la coagulación, la floculación, la sedimentación, la filtración y la desinfección, entre otras. En el proceso de coagulación se adicionan sustancias químicas llamadas coagulantes, que pueden neutralizar los coloides y combinarlos para formar flóculos lo suficientemente grandes e inertes para ser eliminados por precipitación o filtración (Romero, J., 2002).

El cloruro férrico y el sulfato de aluminio son sustancias químicas usadas en soluciones diluidas, que comúnmente se emplean como coagulantes y agentes de precipitación en el tratamiento de agua. Las desventajas del cloruro férrico son entre otras, la necesidad de ajustar el pH del agua, la generación de lodos de desecho difíciles de tratar y las altas dosis requeridas en comparación a las sales de aluminio, por lo cual, se encarece el tratamiento (Cendales et al., 2016). Por su parte, el sulfato de aluminio es asimilado de forma sencilla en los seres vivos y su ingesta prolongada tiene efectos negativos en la salud, tales como el deterioro cognitivo, demencia y en la aparición de la enfermedad del Alzheimer, cáncer y enfermedades óseas (Cogollo J., 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, la comunidad científica ha mostrado interés en evaluar alternativas a la utilización de estos compuestos químicos. Un primer desarrollo de biocoagulantes lo presentaron Jong et al., 2009, quienes emplearon el extracto etanólico de la semilla de uva para la eliminación de contaminantes orgánicos catiónicos, como verde malaquita y violeta cristal. El tratamiento con polifenoles indujo

una rápida decoloración, seguida de la formación gradual de flóculos. Se estableció que los polifenoles naturales de la semilla son los principales ingredientes orgánicos que causan la eliminación de los colorantes a través de la formación gradual de flóculos, disminuyendo la toxicidad del agua contaminada con verde malaquita y violeta cristal.

Recientemente, Ancy et al., 2021 desarrollaron un biocoagulante a partir de la proteína de semilla de *Ricinus communis L.* para eliminar el color, los sólidos disueltos totales (SDT) y la demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales provenientes del despulpado de la cereza de café. Este trabajo se fundamenta en que el proceso de despulpado húmedo del café genera aguas residuales ricas en contaminantes orgánicos y causa una seria amenaza para los cuerpos de agua locales. El tratamiento con una dosis óptima de 0,5 g de la proteína de la semilla redujo en 80% el color, en 75% los SDT y en 80% la DQO de las aguas residuales, junto con un cambio en el pH de 3,7 a 5,2. Se estableció que la proteína lectina provocó la coagulación en las aguas residuales, debido a su naturaleza catiónica, sitios de unión de azúcares y fuerzas de unión de hidrógeno entre moléculas.

En la literatura se han encontrado antecedentes sobre el uso de coagulantes naturales en Colombia, sobre todo en regiones del caribe, donde es difícil el acceso al agua potable en comunidades de escasos recursos y, especialmente, la población rural. Se han evaluado diferentes coagulantes de origen natural modificados y sin modificar, principalmente extractos provenientes de semillas de plantas vegetales, de huesos molidos de crustáceos, y de biomasa (Bravo, M., 2015).

Por otra parte, los residuos de café se consideran un subproducto que puede ocasionar graves problemas ambientales principalmente en los países productores de café, contaminando aguas y suelos. Su uso como alimento para animales se encuentra restringido por considerarse un alimento poco seguro, debido a los compuestos que contiene, como polifenoles y cafeína (Martínez et al., 2019). Sin embargo, estos componentes del café son considerados como compuestos bioactivos, debido a que presentan propiedades antioxidantes y biológicas (Geremu et al., 2016), las cuales pueden potenciarse mediante la formulación de extractos y ser aprovechados como coagulante. Para evaluar si el extracto acuoso puede ser usado para la remoción de sólidos suspendidos en el agua, se debe recurrir de manera experimental al test de jarras (Cendales et al., 2016).

Los extractos de los subproductos del café ya están siendo evaluados como alternativas en tratamiento de aguas, por ejemplo, Cendales et al., 2016 evaluaron la efectividad del mucílago de café como coagulante natural en la remoción de sólidos suspendidos en agua preparada en laboratorio, comparando su eficiencia frente al cloruro férrico. En las condiciones en las que se realizó la experimentación, aumentó la DQO, por lo que los autores recomendaron la implementación de otra metodología de extracción que purifique de manera más eficiente el compuesto activo, como el uso de etanol.

Como una alternativa al uso convencional de reactivos químicos en la remoción de turbidez y color en el agua, en este trabajo se evaluó la efectividad de los extractos acuosos y etanólicos de la pulpa de café.

Materiales y Métodos

Material vegetal

La pulpa de café se obtuvo directamente en una finca cafetera del municipio de Viotá, Cundinamarca. La pulpa fue lavada con agua corriente y secada en estufa de laboratorio a 70°C hasta peso constante. Posteriormente, fue reducido su tamaño de partícula en licuadora casera, obteniéndose el material en polvo.

Agua natural

El agua natural evaluada fue obtenida en uno de los humedales artificiales del Campus de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG), ubicado en el municipio de Cajicá Cundinamarca, 4°56' N – 74°00' W.

Preparación de aguas sintéticas

Soluciones de azul de metileno y cristal violeta, fueron preparadas a una concentración de 2,75 mg/L en agua destilada. Se determinó el pH, la turbidez y la absorbancia iniciales y después de concluido el test de jarras. Todos los ensayos fueron realizados por triplicado.

Obtención de los extractos de pulpa de café

La obtención del extracto acuoso se realizó según la metodología de Musalan (2019). Se pesaron 10 g de la pulpa de café seca y macerada previamente, y se adicionaron 100 mL de agua destilada. La solución se llevó a extracción en incubadora Shaker a 120 rpm, por 1 hora y a temperatura ambiente. Finalmente, la solución fue filtrada al vacío para obtener el sobrenadante.

La extracción etanólica se realizó según la metodología de Palomino et al. (2015). Inicialmente se pesó 1,0 g de la pulpa de café seca y macerada previamente, y posteriormente se le agregaron 20 mL de etanol. La muestra se colocó en matraces Erlenmeyer en una incubadora Shaker por 30 minutos a 40°C y 120 rpm. Finalmente, el extracto fue concentrado en rotaevaporador y liofilizado para su posterior análisis.

Determinación de la absorbancia de los colorantes catiónicos

Con el fin de establecer la longitud de onda en la que se debía medir la absorbancia de cada uno de los colorantes, se realizó un barrido espectral desde 350 hasta 750 nm, utilizando un espectrofotómetro Spectroquant® Pharo.

Evaluación del extracto acuoso como biocoagulante

Antes y después del test de jarras, se midieron los parámetros de calidad del agua natural, utilizando una sonda multiparamétrica HI9829 de HANNA.

El test de jarras se desarrolló según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 3903. Inicialmente y para estandarizar el procedimiento, se realizó el ensayo con coagulantes químicos, cloruro férrico y sulfato de aluminio. En cada jarra se adicionaron 2 L de agua natural, y 4, 6, 8, 10 y 12 mL dosis de coagulante. Se realizó mezcla rápida a 120 rpm durante 1 minuto, y posteriormente mezcla lenta a 40 rpm durante 20 segundos. Las jarras se dejaron en reposo hasta observar la sedimentación de los flóculos. El mismo procedimiento fue desarrollado para el biocoagulante, adicionando 6, 8, 10, 12 y 14 mL del extracto acuoso de pulpa de café.

Evaluación del extracto etanólico en la remoción de colorantes catiónicos

La remoción de color fue evaluada según la metodología propuesta por Jeon et al, (2009) con modificaciones. En cada jarra se adicionaron 500 mL de agua sintética y 500, 800, 1000 y 2000 μ L de extracto etanólico. La mezcla rápida a 120 rpm se realizó durante 1 minuto, y la mezcla lenta a 40 rpm durante 20 segundos, finalmente se dejó en reposo por una hora. Transcurrido este tiempo se midió la absorbancia de las soluciones y se calculó el porcentaje de remoción de color.

Adicionalmente se evaluó la influencia del cambio de pH en la remoción de color, evaluando los pHs 3.0, 6.0 y 8.0. El porcentaje de remoción de color se calculó a partir de la ecuación 1.

$$\% \text{ Remoción color} = \frac{Abs_o - Abs_f}{Abs_o}$$

Ecuación (1)

Donde

Abs_o : Absorbancia antes del tratamiento

Abs_f : Absorbancia al finalizar el tratamiento

Resultados y Análisis

Parámetros de calidad de agua, antes y después de la adición de extracto acuoso de pulpa de café

En la Tabla 1 se muestran los parámetros de calidad del agua antes y después de la adición de extracto acuoso. Se observa que, los valores de pH y conductividad iniciales se encuentran dentro de los valores permisibles por la Norma Colombiana para la calidad del agua para consumo humano (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007). Según esta norma, el valor de pH debe encontrarse entre 6,5 y 9,0; y el de conductividad del agua potable, hasta 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En relación a la turbidez y los sólidos disueltos, la legislación establece que el agua para consumo humano no puede sobrepasar el valor máximo aceptable de 2 NTU y 100 mg/L respectivamente. El valor de estos dos parámetros en el agua analizada deja claro que no es apta para consumo humano y debe ser tratada.

Una vez concluido el test de jarras utilizando como coagulante el extracto acuoso de pulpa de café, se evidenció que no hubo ninguna disminución en el valor de la turbidez, ni formación de flóculos, por el contrario, se observó que la coloración natural del extracto acuoso aumentó en tres unidades el valor de la turbidez del agua y el valor de los sólidos disueltos. Además, no se presentaron diferencias al variar el volumen de extracto acuoso adicionado.

Tabla 1. Parámetros de calidad del agua antes y después del test de jarras

Parámetro de calidad del agua	Unidades	Test de jarras	
		Antes	Después
pH		7.10	7.17
Oxígeno disuelto	%	61.94	62.70
Concentración de oxígeno disuelto	mg/ L OD	4.45	4.44
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	315.00	343.00
Sólidos disueltos	mg/L tds	158.00	171.60
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	17.17	17.19
Presión atmosférica	atm	0.74	0.74
Turbiedad	NTU	43.24	46.48

Barrido espectral de los colorantes catiónicos

En la Figura 1 se observa que, para la solución de azul de metileno, a una longitud de onda de 665 nm, se alcanza una absorbancia máxima de 0.53 nm.

En el caso de la solución de cristal violeta, la absorbancia máxima de 0.63 nm se alcanza a una longitud de onda de 590 nm (Figura 2).

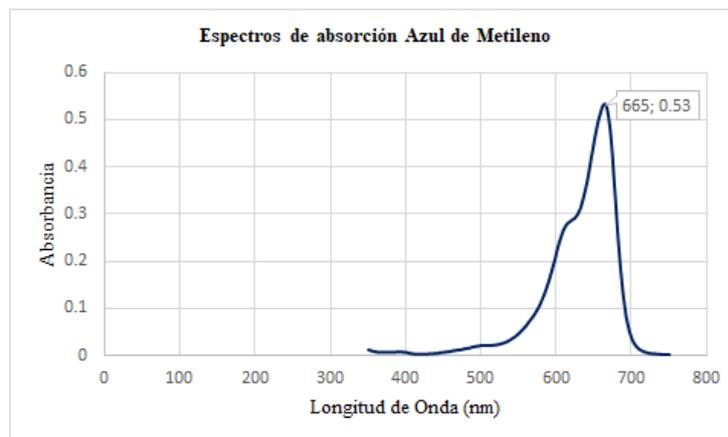


Figura 1. Barrido espectral de la solución acuosa de azul de metileno.

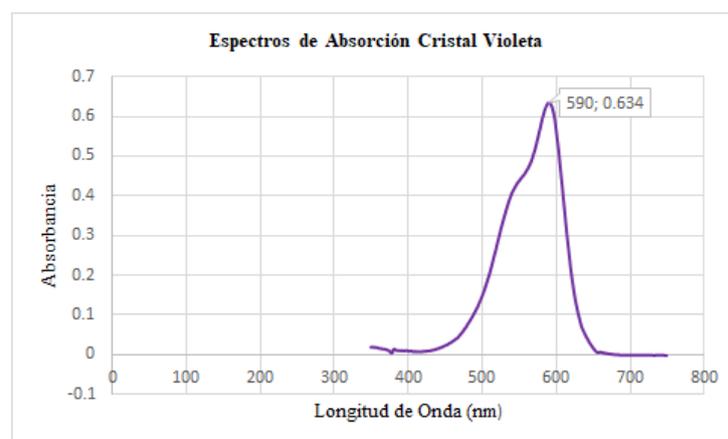


Figura 2. Barrido espectral de la solución acuosa del cristal violeta.

Ensayo de decoloración de las aguas sintéticas

En el caso del azul de metileno, los resultados mostraron que al mantener el pH inicial del agua sintética y variar la cantidad de extracto etanólico, se alcanzó una remoción de color del 9%, la cual es directamente proporcional al aumento del volumen de extracto. Mientras que, para el cristal violeta en las mismas condiciones no se alcanzó

una remoción de color superior al 5.4%, presentándose variaciones mínimas al aumentar el volumen del extracto (Tabla 2).

Teniendo en cuenta los mejores resultados, se evaluó la modificación del pH en el agua con azul de metileno. En la Tabla 3, se observa que al aumentar el volumen de extracto etanólico y evaluar un pH más ácido (3.0) y un pH básico (8.0), se obtuvo una remoción de 37% de color en el agua. Estos resultados demuestran la influencia del pH de la solución en la remoción de color, sugiriendo que los extractos fenólicos de la pulpa de café presentan capacidad de remoción de azul de metileno a pH básico.

Tabla 2. Porcentajes de remoción de los colorantes con adición de diferentes volúmenes de extracto etanólico

Colorante	Volumen del extracto (µL)	pH inicial de la solución	% de remoción de color
Azul de metileno	500	6.0	3.0
	800	6.0	5.9
	1000	6.0	8.9
Cristal violeta	500	5.5	3.3
	800	5.5	4.5
	1000	5.5	5.4

Tabla 3. Evaluación de la remoción de azul de metileno a diferentes pHs

Volumen del extracto (µL)	pH	% de Remoción de Color
2000	3.0	0.25
2000	8.0	37.0

Finalmente, se evaluó la efectividad de la filtración posterior a la finalización del test de jarras, observándose que, la remoción de color de la solución básica aumentó a un 89%.

Conclusiones

Este estudio evaluó el potencial de los extractos acuoso y etanólico de la pulpa de café, para actuar como biocoagulante y remover colorantes catiónicos. El extracto acuoso no presentó propiedades coagulantes, lo que se evidenció en la medida de la turbidez una vez realizado el test de jarras. Por su parte, el extracto etanólico de la pulpa de café presentó capacidad de remoción del colorante azul de metileno y no del cristal violeta. Se alcanzó una remoción de azul de metileno de 37% a pH básico, la cual aumentó significativamente al filtrar la solución. Estos resultados sugieren que los extractos fenólicos de la pulpa de café presentan capacidad de remoción de azul de metileno a pH básico, y es necesario continuar en la búsqueda de los parámetros óptimos para alcanzar mayores porcentajes de decoloración. Por otra parte, es posible inferir que el etanol es más efectivo en la extracción de compuestos fenólicos que pueden ser responsables de la remoción de moléculas catiónicas.

Referencias

Ancy J., Vasanthy, M., Thamarai, C., Ravindran, B., & Jin, W. (2021). Treatment of coffee cherry pulping wastewater by using lectin protein isolated from *Ricinus communis* L. seed. *Journal of Water Process Engineering*, 39, 2214-7144. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101742>

Antov, M., Šćiban, M., Petrović, N. (2010). Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for water turbidity removal. *Bioresour. Technol.*, 100 pp. 2167–2172.

Arrieta, A., LLanos, H., Galeano, J., García, D. (2018). Adsorción de azul de metileno utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) modificada químicamente con ácido oxálico. *Investigación, optimización y nuevos procesos en ingeniería*, 3(2), 99-110. DOI: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n2-2018007>

Bravo, M. (2015). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales [tesis de pregrado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cendales, W., & Cañón, O. (2016). Evaluación de la eficiencia del mucílago del café como coagulante frente al cloruro férrico en los procesos de remoción de sólidos suspendidos en el agua [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Recuperado de: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1323&context=ing_ambient_al_sanitaria

Cogollo J. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. *Revista DYNA*, 78 (165), 18-27.

Geremu, M., Tola, Y. B., & Sualeh, A. (2016). Extraction and determination of total polyphenols and antioxidant capacity of red coffee (*Coffea arabica* L.) pulp of wet processing plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3(25), 1-6. doi: <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0077-1>

Gómez, O. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 7-8. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2010). Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras (3903).

Jeon, J. R., Kim, E. J., Kim, Y. M., Murugesan, K., Kim, J. H., & Chang, Y. S. (2009). Use of grape seed and its natural polyphenol extracts as a natural organic coagulant for removal of cationic dyes. *Chemosphere*, 77(8), 1090–1098. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.036>

Jong, J., Eun, K., Young, K., Kumarasamy, M., Jae, K., & Yoon, C. (2009). Use of grape seed and its natural polyphenol extracts as a natural organic coagulant for removal of cationic dyes. *Chemosphere*, 77, 1090–1098. Recuperado de: doi:10.1016/j.chemosphere.2009.08.036

Martínez, S., Hernández, F., Aguilar, C., Rodríguez, R. (2019). Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana. *Investigación y Ciencia, Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 27, (77).

Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2007). Resolución 2115. Calidad de agua potable. Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

Musalan, M. (2019). Evaluación de la actividad coagulante de los polifenoles extraídos de residuos de café (*coffea arabica*) [Ebook] (pp. 54-60). Recuperado 27 Abril 2020, de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7397/1/6141231-2019-1-IQ.pdf>.

Palomino, L., Bianchi, V. (2015). Efeito da fermentação fúngica no teor de compostos fenólicos em casca de café robusta. *Ciências Agrárias, Londrina*, 36(2), 777-786. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p777

Romero, J. (2002). Calidad del agua. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.

Sánchez, J., Beltrán, J., & Gibello, P. (2011). Adsorbent biopolymers from tannin extracts for water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 168, 1241-1247

Yuzhu, F. (2001). Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. *Bioresource Technology*, 79 (3), 251-262. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00028-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00028-1).

Gran Cuenca del Río Teusacá: Análisis Socio- Ambiental para Fortalecimiento de la Gobernanza del Agua

Esteban Melo González – Eliana Peñuela¹ - Rosalina González Forero², Lina Zuluaga³

Palabras claves

Recurso hídrico, Comunidad, Análisis Físicoquímico

Abstract

En el año 2015 un grupo de varias entidades como Progresar E.S.P, la Universidad de los Andes y otras entidades se unen para realizar un monitoreo de la calidad de agua en toda la Cuenca del Río Teusacá, donde bajo la temática “ciencia ciudadana”, que se lleva a cabo entre el acueducto progresar y los habitantes de la zona, eligieron unos puntos para muestrear el agua del Río teniendo en cuenta los diferentes usos que se le da al suelo, la seguridad y el acceso para verificar y analizar los valores obtenidos, cambios en los mismos y la generación de medidas de mitigación cuando las condiciones encontradas son desfavorables, los parámetros medidos son Temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto. Estos son monitoreados por la comunidad a través de un grupo de vigías con el objetivo de comprender las relaciones calidad del agua -biodiversidad a lo largo del río. Hasta el momento se tienen datos generados y el análisis indica que la comunidad se ha apropiado del proceso, sin embargo, se observó que es necesario el aumento en la calidad y análisis de la información generada.

¹ Estudiantes Ingeniería Ambiental y Sanitaria

² Doctor en Ingeniería, Investigador Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria

³ Progresar E.S.P.

Introducción

El río Teusacá es un afluente del río Bogotá, que tiene 69 kilómetros de longitud que nace en el Alto Los Tunjos y desemboca en el río Bogotá en Cajicá. Este río sufrió impactos ambientales asociados al uso del suelo en sus riveras y debido a ello se organizó un gran proyecto en el cual se vinculó a comunidad de la zona donde entre todos ellos se decidió empezar a medir propiedades fisicoquímicas del agua tales como pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica a lo largo del río para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) (IDEAM, 2015). Entre Progresar E.S.P y otras entidades vinculadas se consiguieron los recursos para los elementos necesarios para la medición. Desde el año 2012 al inicio del proyecto se ha determinado el comportamiento de la calidad del agua en el río, observándose en los registros que en 8 de puntos monitoreados se han detectado cambios positivos en las señales de alerta de Conductividad Eléctrica (CE) y en menor grado en las de Oxígeno disuelto (OD) y pH, lo cual puede interpretarse como una eventual reducción en la carga contaminante en las cuencas alta y media (puntos 3 y 4; 8 y 10, respectivamente). En la cuenca baja (puntos 13, 14 y 17) donde las actividades económicas tradicionales se han visto menos impactadas por el aislamiento, los tres parámetros mantienen las tendencias históricas con señales de alerta en las categorías regular a buena. Llama la atención la señal de alerta del pH en categoría mala en la cuenca baja (punto 14) ya que históricamente este índice ha presentado a lo largo del río señales de alerta en las que predominan las categorías aceptable y buena.

En las siguientes figuras se aprecia un ejemplo de los resultados obtenidos:

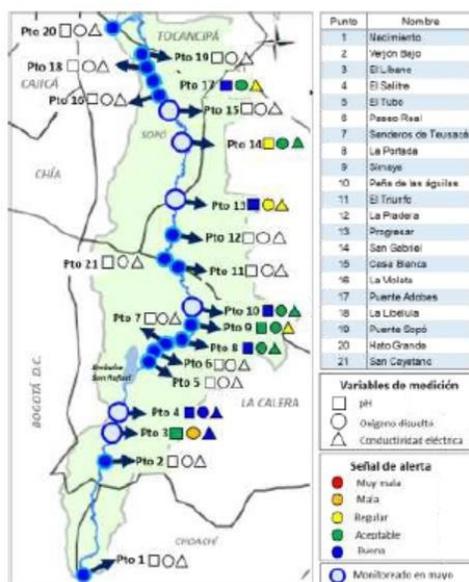


Figura 1. Índices de calidad del agua del río Teusacá (mayo 2020)

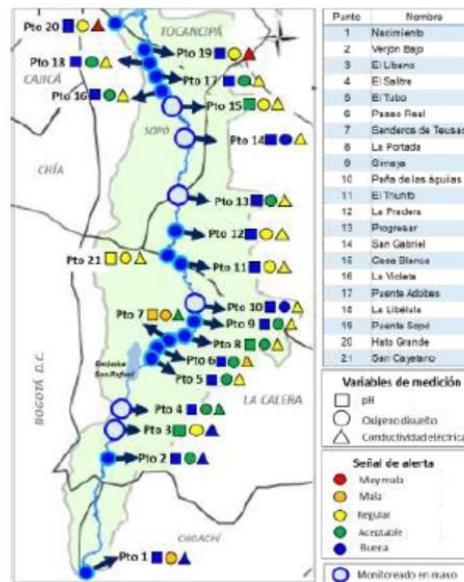


Figura 2. Histórico índices de calidad del agua (jun 2019-mayo 2020)

Fuente: Progresar, E.S.P

La vinculación de la comunidad como los vigías ha sido uno de los logros más importantes porque ellos son quienes realizan el análisis en campo de las muestras históricas de agua, sin embargo, los datos generados no tienen la calidad suficiente y es así como se decidió vincular a la Universidad de La Salle con el fin de verificar la calidad de los resultados obtenidos históricamente, así como nuevos parámetros para establecer efectos antrópicos y de los usos del suelo y con ello facilitar la comprensión de las variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua del río (Progresar E.S.P).

Metodología

Con el fin de determinar la calidad de la información obtenida se establecieron las siguientes fases:

1. Reconocimiento de los Puntos de Monitoreo en Campo y Procedimientos Utilizados
2. Análisis de los Procedimientos Utilizados y Comparación Normativa
3. Ajuste de Procedimientos, Generación de Protocolos y Modelos de Corrección
4. Propuesta de nuevos parámetros fisicoquímicos
5. Implementación de mejoras al procedimiento actual

Resultados y discusión

El reconocimiento de los procedimientos utilizados y puntos de monitoreo implicó la realización de visitas. En la figura 1 se aprecia un esquema de cómo se realiza el procedimiento actual, donde los vigías realizan la toma de muestras, análisis in situ y documentación de los resultados obtenidos, los cuales son almacenados y georeferenciados.

Es de anotar que en las visitas de reconocimiento se observaron las actividades antrópicas realizadas, por ejemplo, en la del municipio de Tocancipá se encuentra la quebrada chucua a donde llegan vertimientos de industrias como papeleras, textiles, agricultura gran escala, y sector residencial entre otros usos.

Con la información de las visitas se observó que algunos elementos no eran lo suficientemente técnicos como se aprecia en la figura 2.



Figura 2. Herramienta utilizada para la toma de muestra y su respectiva medición



Fuente: Autores

Debido a ello se hizo una propuesta que incluyó metodología IDEAM para muestreo de fuentes hídricas. También se procedió en simultánea a realizar mediciones con equipos debidamente calibrados como lo muestra la figura y comparar los datos obtenidos con estos equipos & los datos generados con los vigías:



Figura 3. Equipos Recomendados
Fuente: Autores

Los datos fueron cruzados y con los resultados se realizó el ajuste de procedimientos, generación de protocolos y Modelos de Corrección de los datos, a la vez que se propusieron de nuevos parámetros fisicoquímicos y se hizo una prueba piloto de implementación de mejoras al procedimiento actual. Con lo anterior se determinó el margen de error y se hicieron los ajustes correspondientes.

Conclusión

El proceso realizado por Progresar E.S.P. ha sido invaluable en el sentido de vincular a la comunidad de la cuenca del Río Teusacá como vigías ambientales para cuidar la calidad del Río Teusacá; sin embargo, hay que incrementar la exactitud y precisión de los datos obtenidos en las mediciones con el fin de reportar información pertinente, es así como la comparación realizada por la Universidad de La Salle resulta pertinente ya que los modelos de corrección de datos permiten mostrar información veraz, a la vez que el ajuste del procedimiento ayuda a brindar información pertinente para la toma de decisiones en la Cuenca.

Referencias Bibliográficas

Progresar E.S.P. 2020, Monitoreo participativo de la calidad del agua

IDEAM, 2002, Manual de Monitoreo de Aguas Superficiales.

POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS PECUARIOS EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO.

Juan Carlos Nieto Beltrán^{1*}, Alexis Sagastume Gutierrez²

¹Corporación Autónoma Regional del Atlántico–CRA, Calle 66 No.54 -43. Barranquilla, Atlántico.Código Postal:080002. Colombia. Email: jnieto8@cuc.edu.co

²Departamento de Energía, Corporación Universidad de la Costa, Calle 50 No 55-66, PBX 336 22 00, Barranquilla, Colombia

*Autor corresponsal, CRA- Calle 66 No. 54 -43, Barranquilla – Atlántico-Colombia. energiarespel@crautonomia.gov.co

Abstract

Governments are signaling an Energy Transition from conventional to renewable sources. This transition is based on regulations and environmental goals to reduce CO₂, on the reduction of the costs of the technology of Non-Conventional Energy Sources and on government support schemes for Renewable Energy Sources (UPME, 2015). In Colombia, for the year 2013, 62,200 GWh of electricity was generated in the National Interconnected System-SIN, of which only 804 GWh (1.3%) corresponded to the use of biomass (UPME, 2015), however, for the year by 2030, the estimated biomass energy potential is 388,889 GWh (Sagastume y otros, 2020).

Biogas from the Anaerobic Digestion-DA of livestock waste is a solution to replace the traditional biomass used in lighting and heat. The current challenge of DA is to achieve an efficient, safe and sustainable process that maximizes the use of the substrate while obtaining the best characteristics in the by-products: biogas and digestate (Botero, 2019).

In this research, the energy potential of the generation of biogas from livestock waste in the Department of Atlántico was evaluated, for which it was necessary to determine the number of animals installed in poultry farms (7,806,495 chickens and hens), pigs (18,778 pigs) and the number of bovine heads slaughtered in the animal benefit plants (77,784 bovines). From these data, a total energy potential of 430.88 MWh was calculated.

KeyWords: biogas, anaerobic digestion, energy potential, livestock waste.

POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS PECUARIOS EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO.

Resumen

Los gobiernos están dando señales de una Transición Energética desde las fuentes convencionales a las fuentes renovables. Esta transición está fundamentada en las reglamentaciones y metas ambientales de reducción de CO₂, en la disminución de los costos de la tecnología de las Fuentes de Energía no Convencionales y en los esquemas de apoyo gubernamental a las Fuentes de Energías Renovables (UPME, 2015). En Colombia, para el año 2013 se generó 62.200 GWh de electricidad en el Sistema Interconectado Nacional-SIN, de los cuales solamente 804 GWh (1,3%) correspondieron al uso de biomasa (UPME, 2015), no obstante, para el año 2030 el potencial energético de biomasa estimada es de 388,889 GWh (Sagastume y otros, 2020).

El biogás de la Digestión Anaerobia-DA de residuos pecuarios es una solución para la sustitución de la biomasa tradicional usada en iluminación y calor. El desafío actual de la DA es lograr un proceso eficiente, seguro y sostenible que maximice la utilización del sustrato a la vez que se obtengan las mejores características en los subproductos: biogás y digestato (Botero, 2019)

En esta investigación se evaluó el potencial energético de la generación de biogás a partir de residuos pecuarios en el Departamento del Atlántico, para lo cual fue necesario determinar el número de animales instalados en las granjas avícolas (7.806.495 pollos y gallinas), porcícolas (18.778 porcinos) y la cantidad de cabezas de bovinos sacrificadas en las plantas de beneficio animal (77.784 bovinos). A partir de estos datos se calculó un potencial energético total de 430,88 MWh.

Palabras clave: biogás, digestión anaeróbica, potencial energético, residuos pecuarios.

Introducción

Con esta investigación se busca hacer una estimación del potencial energético del biogás obtenido a partir de la digestión anaerobia de la biomasa residual generada en el sector pecuario del Departamento del Atlántico. Los residuos incluidos en el alcance de este trabajo de tesis doctoral son la pollinaza, porquinaza y bovinaza, los cuales son producidos en las granjas avícolas (Leonardi, 2013), porcícolas (Armas, 2016) y plantas de beneficio animal (Guerrero & Ramírez, 2004) respectivamente.

Sagastume Gutiérrez et al (2020), en el año 2010 el potencial energético de biomasa en Colombia fue de 61,077,778 GWh; sin la biomasa forestal, el potencial energético fue de 233,333 GWh, lo que indica que esta representó aproximadamente el 99.62% del total del potencial energético.

El biogás de la Digestión Anaerobia-DA de residuos pecuarios es una solución para la sustitución de la biomasa tradicional usada en iluminación y calor. Adicionalmente, el manejo de residuos pecuarios a través de la DA representa una opción para la prevención del riesgo constante de materialización de impactos negativos en el medio ambiente como consecuencia de manejos inadecuados de los residuos (Babaee, Roshani, & Shayegan, 2012). El desafío actual de la DA es lograr un proceso eficiente, seguro y sostenible que maximice la utilización del sustrato a la vez que se obtengan las mejores características en los subproductos: biogás y digestato (Botero, Botero, & Parra, 2019).

En el marco de la evaluación del potencial energético de la generación de biogás a partir de residuos pecuarios en el departamento del atlántico se realizó una caracterización de las fuentes de generación de pollinaza, porquinaza y bovinaza, con lo que se logró conocer datos como la cantidad de animales manejados y la cantidad de residuos pecuarios generados. Adicionalmente se determinó el potencial aprovechable de estos residuos y su potencial de producción de biogás. Finalmente, se evaluaron los diferentes escenarios energéticos de aplicación de la digestión anaerobia a partir de la pollinaza, porquinaza y bovinaza aprovechable en el sector pecuario, para lo cual se identificaron y se caracterizaron las tecnologías disponibles para producción de biogás y su aprovechamiento. Posteriormente se hizo una modelación de escenarios.

Formulación del problema

¿Cuál es el potencial energético del biogás que puede obtenerse a partir de residuos pecuarios en el Departamento del Atlántico?

Alcance de la investigación.

Potencial energético aprovechable del biogás generado a partir de pollinaza, porquinaza y bovinaza en el Departamento del Atlántico.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el potencial energético del uso de residuos pecuarios para la producción de biogás en el departamento Atlántico.

Objetivos Específicos

- Caracterizar cuantitativa y cualitativamente las fuentes de generación de pollinaza, porquinaza y bovinaza del Departamento del Atlántico.
- Determinar el potencial energético de la biomasa generada a partir de pollinaza, porquinaza y bovinaza en el Departamento del Atlántico.
- Determinar el potencial de producción de biogás de la pollinaza, porquinaza y bovinaza aprovechable en el Departamento del Atlántico.
- Evaluar diferentes escenarios energéticos de aplicación de la digestión anaerobia a partir de la pollinaza, porquinaza y bovinaza aprovechable en el sector pecuario del Departamento del Atlántico.

Materiales y Métodos

A partir de información secundaria obtenida de la base de datos de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico – CRA y del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, se realizó una caracterización de las fuentes de generación de pollinaza, porquinaza y bovinaza, en la que se determinaron variables como el número de animales manejados y la cantidad anual de residuos pecuarios generados en estos establecimientos. Con estos datos se calculó el potencial energético a partir de la biomasa disponible. Estos resultados se presentan en la tabla No. 3.

Posteriormente, utilizando la información obtenida en la caracterización, se identificarán y seleccionarán aquellas fuentes con potencial de aprovechamiento energético. Esto se realizará por medio de una toma de decisiones multicriterio (MCDM), la cual es una técnica que ha demostrado ser efectiva para asignar valores a diferentes criterios, y es compatible con la funcionalidad del Sistema de Información Geográfico SIG. Aplicando MCDM se generarán tres modelos: el modelo de restricción, que indicará las áreas excluidas para desarrollar biodigestores; el modelo de evaluación, el cual realiza una clasificación de los diferentes criterios utilizados para desarrollar un biodigestor; y el modelo de idoneidad, que dará como resultado la identificación de los sitios más adecuados para desarrollar un biodigestor con aprovechamiento energético.

Seguidamente, se caracterizará el potencial aprovechable de biogás. Para esto se usará un laboratorio prototipo alemán de marca Bluesens-BIOGASTIGER fabricado por FWE Energy Solutions, en el que se cuenta con sensores especializados para la caracterización del biogás. La información de entrada (input) se recogerá mediante tablas y listas de chequeo, mientras que la información de salida (output) como lo es la composición del biogás se almacenará en computador en línea que hace parte de la tecnología Bluesens.

Finalmente se proyectan los escenarios energéticos de aplicación de la digestión anaerobia a partir de la pollinaza, porquinaza y bovinaza aprovechable en el sector pecuario del departamento del Atlántico. Para esto es necesario identificar y caracterizar las tecnologías disponibles para producción de biogás y su aprovechamiento, y hacer modelación de los distintos escenarios en los que puedan ser aplicadas.

Resultados (parciales) y discusión.

Caracterización cuantitativa y cualitativa las fuentes de generación de pollinaza, porquinaza y bovinaza del Departamento del Atlántico.

En esta sección se da a conocer la cantidad de granjas avícolas, porcícolas y plantas de beneficio animal en el departamento del Atlántico, así como el número de animales manejados anualmente en estos centros pecuarios por municipios.

Tabla 1. Expedientes Sector Pecuario.

Tipo de establecimiento	Cantidad de establecimientos
Granjas avícolas	54
Granjas porcícolas	32
Plantas de beneficio animal	6
TOTAL	92

Nota. Elaboración propia a partir de expedientes CRA.



Tabla 2. Número de animales manejados anualmente por municipio.

Territorio	Aves/año	Porcinos/a ño	Bovinos año
Atlántico	7,806,495	18,778	77,784
Baranoa	1,029,330	2,853	-
Barranquilla	-	60	-
Campo de la Cruz	-	-	-
Candelaria	-	-	-
Galapa	886,000	-	-
Juan de Acosta	-	1,960	-
Luruaco	115,00	-	-
Malambo	976,000	830	48,000
Manatí	-	-	-
Palmar de Valera	33,000	-	-
Piojó	-	-	-
Polonuevo	1,323,000	10,410	-
Ponedera	463,000	-	-
Puerto Colombia	191,000	-	-
Repelón	352,000	-	-
Sabanagrande	1,119,500	-	-
Sabanalarga	1,225,665	1,378	8,184
Santa Lucía	-	-	-
Santo Tomas	93,000	733	-
Soledad	-	-	21,600
Suán	-	-	-
Tubará	-	-	-
Usiacurí	-	554	-

Nota. Elaboración propia a partir de expedientes CRA.

Potencial Energético

De acuerdo con Sagastume y otros, 2020; el potencial energético de los residuos pecuarios identificados se puede calcular mediante la ecuación 1, así:

$$\text{Potencial Energético (PE)} = \sum (M_i \times [TMP]_i \times LHV_{CH_4}) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

M_i = Fuente de biomasa disponible (Kg)

TMP_i = Potencial técnico de metano de la fuente de biomasa i (m^3)

LHV_{CH_4} = Poder Calorífico Bajo del metano KJ/ m^3

Tabla 3. Potencial energético de los residuos pecuarios del departamento del Atlántico.

Ganado	Número de animales	Factor de Desperdicio (Kg/cabeza)	M_i (kg)	TMP (m^3 /cabeza)	LHV- CH_4 (MJ/kg)	Potencial Energético MWh
Aves	7.806.495	0,002	15.613	0,11	11,8	5,61
Porcinos	18.778	3,456	64.897	0,14	0,3	0,76
Bovinos	77.784	21,3	1.656.799	0,25	3,7	424,51
Total PE						430,88

Fuente: Elaboración propia teniendo en cuenta factor de desperdicio, TMP, LHV tomados de: Aditiya et al., 2016; Billen et al., 2015; Minagricultura and DANE, 2014; Phyllis2, 2019.

Modelación de escenarios.

En esta sección se presenta un avance que corresponden a la identificación de las zonas en las que hay mayor concentración de establecimientos pecuarios en función de la cercanía a las subestaciones eléctricas. A continuación, se presentan mapas en los que se puede observar una representación espacial de las granjas, mataderos y subestaciones eléctricas.

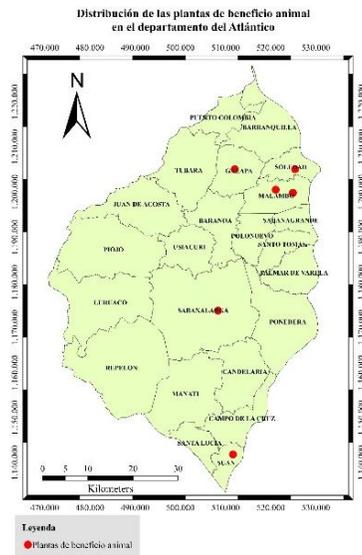


Figura 1. Mapa del departamento del Atlántico con la representación de la ubicación geográfica de las plantas de beneficio animal. (Fuente propia a partir de datos de la CRA 2018-2019).

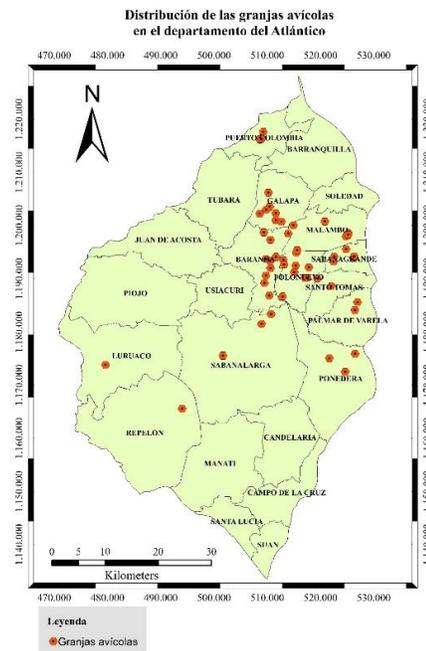


Figura 2. Mapa del departamento del Atlántico con la representación de la ubicación geográfica de las granjas avícolas. (Fuente propia a partir de datos de la CRA 2018-2018).

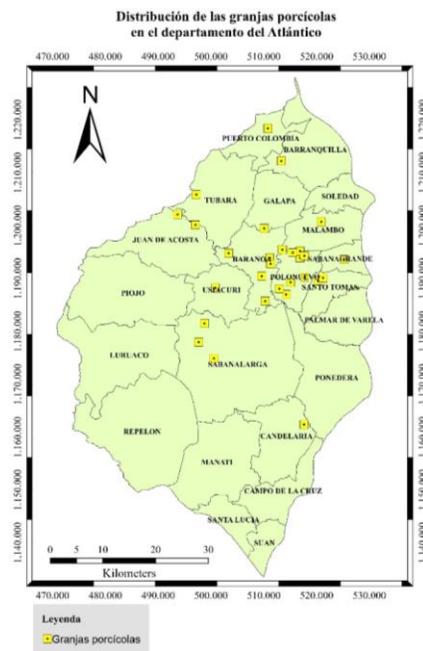


Figura 3. Mapa del departamento del Atlántico con la representación de la ubicación geográfica de las granjas porcícolas. (Fuente propia a partir de datos de la CRA 2018-2019).

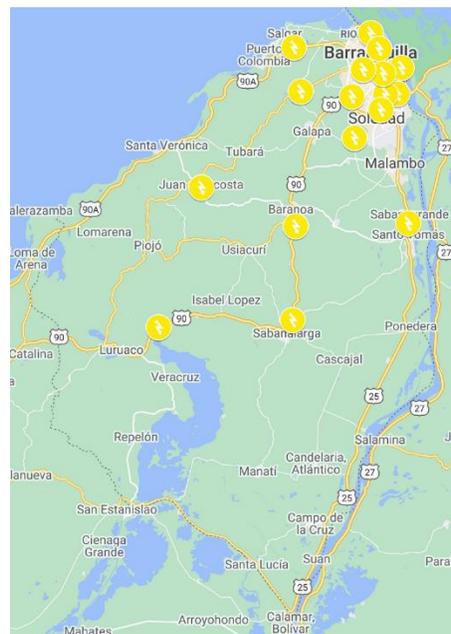


Figura 4. Mapa del departamento del Atlántico con la representación de la ubicación geográfica de las subestaciones eléctricas.

Conclusiones:

1. Los residuos pecuarios hoy ocasionan afectaciones ambientales negativas (olores ofensivos) en el área de estudio.
2. Los residuos pecuarios son una potencial fuente de energía (eléctrica o térmica) de fácil acceso.
3. El potencial energético de los residuos pecuarios es mínimo comparado con otras regiones del país donde se desarrolla mayor actividad avícola, porcícola y ganadera.
4. Existe la posibilidad de “asociatividad” empresarial para efectos de concentrar los residuos pecuarios en pocas instalaciones que puedan generar energía a través de biodigestión anaerobia.
5. Es pertinente la aplicación de herramientas como los SIG y análisis multicriterio para determinar la viabilidad económica y social de implementación regional de plantas de gestión energética de residuos pecuarios.

Referencias bibliográficas

- Armas, Y. (2016). *Impacto de la inclusión de cerdaza como sustrato en la digestión anaerobia de purines*. Zamorano, Honduras.
- Botero, J., Botero, M., & Parra, D. (2019). Biomasa residual pecuaria: revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos. *UIS Ing, XVIII*, 149-160. doi:10.18273/revuin.v18n2-2019013
- Canales, R. (2011). *Producción de biogás a partir de aguas residuales y residuos agrícolas (Tesis de Pregrado)*. Zamorano, Honduras.
- Guerrero, E., & Ramírez, F. (2004). Manejo ambiental de residuos de mataderos en pequeños municipios. *Scientia Et Technica, vol. X, núm. 26*, 199-204. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911640034.pdf>
- Leonardi, I. (2013). Mejores técnicas disponibles en la gestión ambiental de residuos de la producción intensiva de aves. *Senasa*, 39.
- UPME. (2015). Integración de Energías Renovables No Convencionales en Colombia.
- UPME. (2015). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. Obtenido de <http://www.upme.gov.co/>: http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf
- Sagastume Gutiérrez et al. (2020). *The energy potential of agriculture, agroindustrial, livestock and slaughterhouse biomass wastes through direct combustion and anaerobic digestion. The case of Colombia*. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122317.

Formulación de una herramienta tecnológica para la selección de unidades de tratamiento de agua residual para el sector de las curtiembres en Bogotá D.C

Juan David Rubiano T¹, Sean Sebastián Suret L^{1*}, Beatriz Elena Ortiz G¹

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: ssuret35@unisalle.edu.co .

Abstract

Despite the inclusion of sustainable production practices in tannery sector in the city of Bogotá, the activities carried out in this sector still have an environmental impact taking into account discharges of substances of health concern into the city's sewage systems. These are mainly due to the physical and chemical changes made to the hides and skins. do in aqueous media.

This project was carried out in partnership with a public entity and aims to design a tool that will allow companies to be advised on industrial wastewater treatment technologies applicable to the tannery sector located in the San Benito district of Bogotá D. C. with the aim of creating a pedagogical mechanism to guide the generators of this type of wastewater on the different treatment options taking into account technical, economic and/or operational criteria. This involved dividing the development of the project into three phases.

In the first phase, an explanation of the variable criteria to be considered for the selection of treatment units, an identification of the technologies available for wastewater treatment at national and international level, and finally a selection of units for incorporation into the selection tool is made.

In the second phase, the technical development of the tool is carried out by defining the qualitative ranges to be qualified for the variable criteria and the incorporated tools, as well as the technological development of the selection tool in the MS Excel software by incorporating filtering processes with buttons and macros. Subsequently, the validation of this tool is carried out under a judgement of experts in the area of knowledge covered by this project; obtaining an approval from them with 85% favorability.

Finally, in the third phase, the user manual of the tool is designed, which explains the main components of the tool, the download process and the appropriate way to approach the tool in order to provide a support tool for the user of the tool.

KeyWords: *Tannery, technological tool, variable criteria, wastewater.*

FORMULACIÓN DE UNA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PARA LA SELECCIÓN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA EL SECTOR DE LAS CURTIEMBRES EN BOGOTÁ D.C.

Resumen

A pesar de la inclusión de prácticas de producción más limpia en el sector de curtiembres en la ciudad de Bogotá, en la actualidad las actividades que se practican en este sector productivo continúan generando impactos ambientales en materia de vertimientos de sustancias de interés sanitario a las redes de alcantarillado de la ciudad; estas se deben principalmente a que los cambios físicos y químicos que se realizan a las pieles, se hacen en medios acuosos.

El presente proyecto fue realizado en alianza con una entidad pública y tiene como objeto diseñar una herramienta que permita asesorar a las empresas sobre las tecnologías de tratamiento de agua residual industrial aplicables para el sector de las curtiembres ubicado en el barrio San Benito en la ciudad de Bogotá D.C: con el objetivo de crear un mecanismo pedagógico que permita guiar a los generadores de este tipo de agua residual sobre las diferentes opciones de tratamiento teniendo en cuenta criterios técnicos, económicos y/u operacionales. Para ello fue necesario dividir el desarrollo del proyecto en tres etapas.

En la primera etapa se realiza una explicación de las variables criterio a tener en cuenta para la selección de unidades de tratamiento, una identificación de las tecnologías disponibles para el tratamiento de agua residual a nivel nacional e internacional y finalmente se realiza una selección de unidades para su incorporación en la herramienta de selección.

En la segunda etapa se realiza el desarrollo técnico de la herramienta mediante una definición de los rangos cualitativos a calificar para las variables criterio y las herramientas incorporadas, además del desarrollo tecnológico de la herramienta de selección en el

software Excel mediante la incorporación de procesos de filtración con botones y macros. Posterior a esto se realiza la validación de esta herramienta bajo un juicio de expertos en el área del conocimiento abarcada en este proyecto; obteniendo una aprobación por parte de ellos con 85% de favorabilidad.

Finalmente en la tercera etapa, se realiza el diseño del manual de uso de la herramienta en donde se explican los principales componentes de la herramienta, el proceso de descarga y la manera adecuada de abordar la herramienta con el fin de dar una herramienta de apoyo para el usuario de la herramienta.

Palabras clave: Agua residual, curtiembres, herramienta tecnológica, variable criterio.

Introducción

El sector productivo de las curtiembres inició en Colombia a mediados de la década de 1950 en los municipios de Chocontá y Villapinzón en el departamento de Cundinamarca; años después se desplazó hacia la ciudad de Bogotá debido a las distancias que se debían recorrer inicialmente para la comercialización del cuero.

El sector de curtiembres como actividad económica representa para Colombia y específicamente para la ciudad de Bogotá un eje relevante que desde el año 2015 ha ido tomando relevancia con el aumento de sus ventas y con ello la generación de empleo estableciendo unas cifras positivas año tras año. Las exportaciones de piel salada y wet-blue para Colombia en el primer semestre de 2015 se cotizaron en US \$99.2 millones y la participación del mercado en Bogotá entre 2008 y 2013 llegó a niveles superiores del 35% con respecto al país (DANE, 2015). Es por esto por lo que a medida que aumenta la demanda de pieles a nivel nacional e internacional, la producción de aguas residuales generadas por este sector productivo aumenta de manera proporcional.

En el numeral 4.6 de la Sentencia Río Bogotá, se le ordena a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) a revisar y ordenar los ajustes necesarios frente a los vertimientos de los usuarios individuales que no son interceptados por los sistemas de alcantarillado municipales, en aras de que las descargas que hacen al cauce del Río Bogotá cumplan con los parámetros y lineamientos de descontaminación consagrados en la sentencia.

Así mismo, se declaran diferentes personas naturales, jurídicas y autoridades que deben ser responsables y velar por la descontaminación de la cuenca del río Bogotá; por esto es que desde la Secretaría Distrital de Ambiente de la ciudad se ha trabajado por reducir estos vertimientos; en donde en 2017 se logró publicar la Guía de Producción Más Limpia para el sector de curtiembres con el fin de fomentar buenas prácticas en el sector productivo que incurran en una reducción en las concentraciones de los contaminantes dispuestos en las redes de alcantarillado.

La empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá mediante el informe: “*Seguimiento sobre las actividades de San Benito*”, reportó a la Secretaría Distrital de Ambiente los resultados obtenidos por la entidad; en donde se obtuvo un total de 68 usuarios que presentaron caracterización de vertimientos. Allí se evidenció un mayor incumplimiento sobre los parámetros de interés producidos en una proporción relevante como fenoles y cromo. Sin embargo, actualmente el sector cuenta con un número mayor de empresas que no realizan el reporte de sus caracterizaciones por la falta de manejo de sus aguas residuales.

Objetivos

General

Diseñar una herramienta que permita seleccionar tecnologías de tratamiento de agua residual industrial para el sector de las curtiembres en Bogotá D.C partiendo de las variables criterio seleccionadas.

Específicos

1. Identificar y analizar las diferentes tecnologías para el tratamiento de agua residual proveniente del sector de curtiembres en la ciudad de Bogotá D.C.
2. Desarrollar y validar una herramienta que permita la selección de tecnologías de tratamiento de agua residual teniendo en cuenta variables técnicas, económicas y operacionales.
3. Diseñar la guía de uso e implementación de la herramienta desde el punto de vista operacional de la misma.

Materiales y metodología

La presente investigación se desarrolló en tres fases entre las cuales se caracterizan por una revisión de reportes y documentos en torno al tratamiento de aguas residuales de origen industrial y reportes de operaciones implementadas en la actividad de curtición en el sector de San Benito, generación de bases de datos de información y recopilación de la misma en el software MS Excel.

Fase 1

Esta fase comprendió diferentes actividades que generaron insumos para el posterior desarrollo de las fases de este proyecto (ver figura 1). Con respecto a esta fase, en primera medida se realizó una contextualización de la industria de San Benito frente a los procesos empleados de manera general en el proceso de curtiembres y una identificación puntual de los procesos empleados en el sector generando como producto una caracterización de actividades implementadas, teniendo en cuenta los reportes generados por entidades públicas en la ciudad.

Después de la contextualización del sector se ejecutó una revisión frente a los contaminantes generados por etapas del proceso de curtido (ribera, curtido y acabados) generando como producto una descripción de contaminantes a tener en cuenta relacionando el proceso productivo con la normativa ambiental, tomando como insumo principal diferentes guías de producción más limpia para el sector de curtiembres en Latinoamérica y Europa.

Además, se definieron las variables criterio a tener en cuenta para la selección de tecnologías, siendo un insumo base para la creación de la herramienta en MS Excel abarcando aspectos técnicos, económicos y operacionales; mediante una revisión de doce diferentes autores que abordan metodologías de selección de tratamientos de agua residual aplicadas a nivel internacional en el sector doméstico e industrial.

Finalmente, esta fase se completó mediante la revisión de información existente de acuerdo a las tecnologías de tratamiento de agua residual para los diferentes tipos de actividades en los procesos de curtido, siendo el insumo principal para el desarrollo de la fase 2.

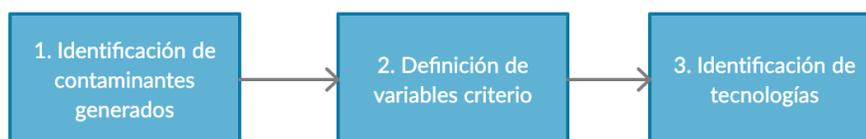


Figura 1. Principales actividades de la Etapa 1. **Fuente.** Autores.

Fase 2

Esta fase comprendió diferentes actividades que generaron insumos para la construcción de la herramienta (ver figura 2). Para el desarrollo técnico de la herramienta con base a información bibliográfica y comercial se realiza la determinación de los rangos para las variables a tener en cuenta por parte de las tecnologías identificadas, realizando este proceso para cada tecnología incorporada; de manera que los procesos de filtración sean sencillos y acordes con la información recolectada; esta cualificación se debe realizar bajo escenarios homogéneos comparativos.



Figura 2. Principales actividades de la Etapa 2. **Fuente.** Autores.

Para el desarrollo tecnológico, se realizó la construcción de la herramienta en Microsoft Excel y Visual Basic para proveer un programa fácil de distribuir por parte de la(s) entidad(es) involucrada(s), adaptable y amigable a los requerimientos de quien haga uso de esta herramienta; mediante la generación de ventanas de información y consulta, botones y macros. El desarrollo de la herramienta tecnológica representó un proceso de programación básica con el fin de generar botones que cumplan funciones de navegación, filtración y traslado de información entre las ventanas de almacenamiento de información y las ventanas visibles para el usuario.

Finalmente la herramienta desarrollada se somete a un proceso de validación mediante un juicio de expertos con experiencia en el área de tratamiento de agua residual como del sector de curtiembres y sus procesos productivos; en donde se dió a conocer el alcance y finalidad de la herramienta; posteriormente se realizó la consulta de la herramienta y una retroalimentación de la percepción de la herramienta por cada experto consultado. Así mismo, se atendió a las recomendaciones por parte de los expertos alcanzables y aplicables para el proyecto; adjuntando estas ya sea a la herramienta o al manual de usuario desarrollado en la siguiente fase del proyecto.

Fase 3

Teniendo en cuenta las recomendaciones realizadas por parte de los expertos y con base a la revisión de diferentes manuales de uso de software tales como AutoCAD, ArcGIS, del modelo QUAL2K; se tuvo en cuenta los apartados más relevantes de estos y con ello se diseñó el contenido de la guía de uso de la herramienta.

Resultados y discusión

FASE 1

IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES GENERADOS

Etapa ribera

Las actividades de esta etapa se basan en el uso de insumos que facilitan la remoción de las fibras que tienen las pieles crudas y/o saladas. Para el remojo es frecuente el uso de tensoactivos y ácidos como el acético y fórmico los cuales limpian suciedades en las pieles; para la remoción de fibras se suele utilizar cal, sulfuro de sodio y sulfhidrato de sodio. Después del pelambre se hace uso de cal y agua para las operaciones de lavado, descarte y dividido de pieles; en la tabla 1 se muestran los principales contaminantes que se derivan de las actividades en la etapa de ribera.

Tabla 1. Principales contaminantes generados en la etapa ribera

Etapa	Actividad	Químicos utilizados	Genera agua residual	Contaminantes						
				DBO	DQO	SS	SD	FOG	SULFUROS	ALCALINIDAD
Ribera	Recepción de pieles	Ninguno	No	Residuos sólidos						
	Pre-descarne	Ninguno	No	Residuos sólidos						
	Remojo	Agua, agentes humectantes, tensoactivos, ácido acético, ácido fórmico	Si	X	X	X		X		X
	Pelambre	Sulfuro de sodio, sulfhidrato de sodio, cal apagada	Si	X	X	X	X		X	X
	Lavado	Agua	Si	X	X	X	X		X	
	Descarne	Cal	No	Residuos sólidos						
	Dividido	Cal	No	Residuos sólidos						

Fuente. Birbuet J, Landivar C. (2016). Emmer V, del Campo M. (2014). Modificación propia.

Etapa curtido

Las actividades de esta etapa se basan en el uso de insumos que retiran los residuos de las actividades anteriores y facilitan las condiciones en las pieles para la coloración del wet-blue (Secretaría Distrital de Ambiente, 2017). Para el desenchalado es frecuente el uso de sulfato de amonio y ácidos los cuales limpian los restos de pelambre; para acondicionar las pieles a niveles de pH adecuados se puede utilizar cloruro de sodio, ácido sulfúrico, ácido glioxílico o ácido pirúvico. Para el curtido se utiliza el sulfato de cromo que da la coloración al wet-blue, el cual se somete a un escurrido y rebajado sin la presencia de químicos; en la tabla 2 se muestran los principales contaminantes que se derivan de las actividades en la etapa de curtido.

Tabla 2. Principales contaminantes generados en la etapa curtido

Etapa	Actividad	Químicos utilizados	Genera agua residual	Contaminantes							
				DBO	DQO	SS	SD	NITRÓGENO AMONICAL	CLORUROS	CROMO	ALCALINIDAD
Curtido	Desenchalado	Sulfato de amonio, ácidos débiles	Si	X	X	X	X	X	X		
	Purga	Sulfato de amonio, enzimas	Si	X	X	X	X	X			
	Lavado	Agua	Si					X			
	Piquelado	Cloruro de sodio, ácido sulfúrico, ácido glioxílico, ácido pirúvico	Si		X		X				X
	Curtido	Sulfato básico de cromo	Si		X	X	X			X	X
	Escurrido	Ninguno	Si							X	X
	Rebajado	Ninguno	No								

Fuente. Birbuet J, Landivar C. (2016). Emmer V, del Campo M. (2014). Modificación propia.

Etapa acabados

Las actividades de esta etapa se basan en el uso de químicos e insumos que cambian las propiedades físicas del wet-blue y aumentan su valor comercial. Para el neutralizado se pueden utilizar compuestos derivados de sodio los cuales estabilizan la piel tratada; para el curtido se utiliza el sulfato y sales de cromo que da la un mejor terminado al wet-blue, el cual se somete a un escurrido y rebajado sin la presencia de químicos. En la actividad de teñido se realiza mediante el uso de anilina la fijación del tono al wet-blue, el cual cambia a una textura suave en presencia de aceites y/o ácido fórmico; en la tabla 3 se muestran los principales contaminantes que se derivan de las actividades en la etapa de acabado en húmedo.

Tabla 3. Principales contaminantes generados en la etapa acabados

Etapa	Actividad	Químicos utilizados	Genera agua residual	Contaminantes									
				DBO	DQO	SS	SD	FOG	FENOLES	CROMO	COLORANTES	ALCALINIDAD	
Acabado en húmedo	Neutralizado	Agua, bicarbonato de sodio, formiato de sodio, taninos	Si										X
	Lavado	Agua	Si										X
	Recurtido	Sales de cromo, formiato de sodio, taninos	Si		X		X				X		
	Teñido	Anilina	Si		X				X			X	
	Engrase	Aceites, ácido fórmico	Si		X			X	X				
	Lavado y escurrido	Agua	Si					X				X	

Fuente. Birbuet J, Landivar C. (2016). Emmer V, del Campo M. (2014). Modificación propia.

DEFINICIÓN DE VARIABLES CRITERIO

En las metodologías de selección de tratamientos de agua residual, las variables de análisis a tener en cuenta son de vital importancia partiendo de la variabilidad que permite el campo de acción donde se desee formular el sistema de tratamiento en sí, es decir, campo de acción como industrial, doméstica o tipo de agua específica a tratar.

Para la formulación de sistemas de tratamiento partiendo de los aspectos de cumplimiento normativo así como de satisfacción por parte de la empresa a la que se le formula el sistema, implica entender las diversas variables inmersas técnica, económica y operacionalmente tanto de cada unidad como del sistema en sí. De acuerdo con Plakas *et al.* (2016), Garrido-Baserba *et al.* (2016), María Molinos-Senante *et al.* (2015); los modelos de selección deben estar basados en diferentes variables de análisis. Para esta investigación se contemplaron 11 diferentes variables recopiladas en tres diferentes aspectos.

Aspecto técnico

En este aspecto se definen características y especificaciones, que la empresa debe tener frente a los requerimientos que esta misma tenga frente a las tecnologías; las variables que pertenecen a este aspecto se muestran en la figura 3.

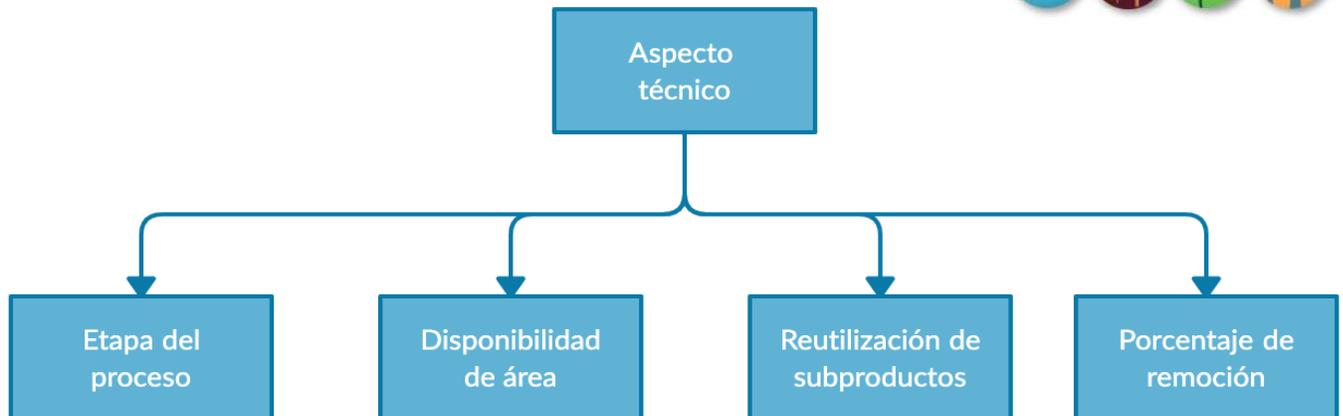


Figura 3. Variables del aspecto técnico.
Fuente. Autores.

La variable “Etapa del proceso” corresponde principalmente para el empresario a la definición de los contaminantes a tratar derivados de las actividades del proceso que implemente, así como Muga y Mihelcic (2008), Molinos et al (2015) y Garrido-Baserba et al (2016) realizaron la construcción de un criterio teniendo en cuenta la población a atender en el tratamiento de agua residual doméstica como fuente de información de los contaminantes a tratar. La variable “Disponibilidad de área” responde a como lo postuló Garrido-Baserba et al (2016), una restricción de espacio frente a las necesidades particulares de la población atendida; esta variable tiene en cuenta el espacio disponible en la empresa de curtido para contar con un tratamiento de agua residual.

La variable “Reutilización de subproductos” comprende para el empresario el interés por la reincorporación de subproductos o residuos derivados del sistema de tratamiento con la capacidad de ser utilizados en la cadena productiva y finalmente; la variable “Parámetros de remoción” representa el rango de remoción de una tecnología frente contaminante a un contaminante en específico.

Aspecto operativo

En este aspecto se definen los requerimientos derivados de los efectos e implicaciones que la empresa debe tener desde la puesta en marcha de las unidades de tratamiento de agua residual y el funcionamiento continuo de la misma. Las variables que pertenecen a este aspecto se muestran en la figura 4.

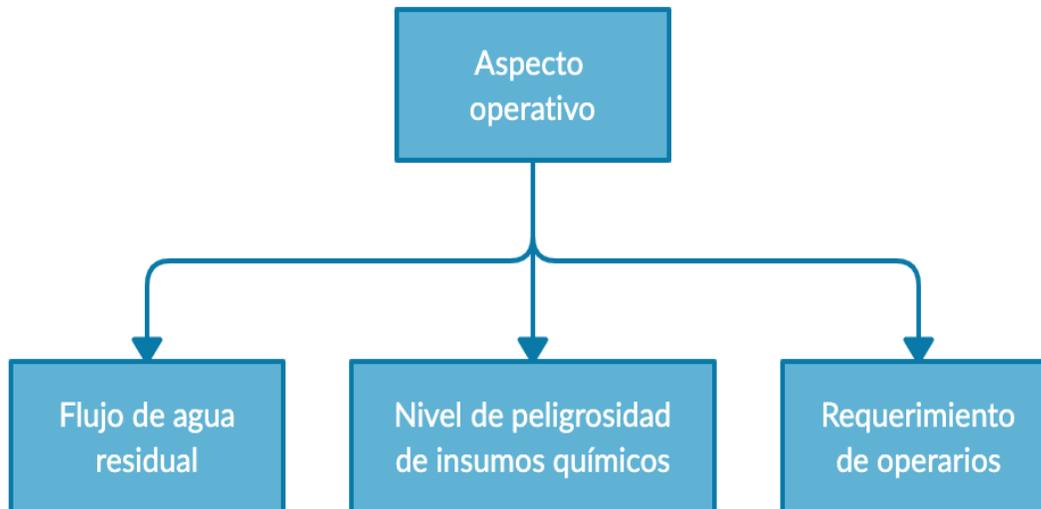


Figura 4. Variables del aspecto operativo. **Fuente.** Autores.

La variable “Flujo de agua residual” refleja de manera cualitativa el caudal a operar en la empresa ya que de acuerdo a Garrido-Baserba et al (2016), el caudal es un elemento que se debe tener en cuenta para las herramientas de selección de tratamiento de agua residual. Teniendo en cuenta que en la construcción de herramientas de selección de tratamiento de agua residual, se tiene en cuenta la complejidad de la operación (Gao et al., 2015) y el uso de químicos en el mismo (Hellström y Kärman, 2000) la variable “Nivel de peligrosidad de insumos químicos” representa el nivel de riesgo químico que trae cada tecnología al ser operada, debido al uso de insumos químicos. Finalmente la variable “Requerimiento de operarios”, representa la disposición que la empresa tiene frente a la posible contratación de empleados que se encarguen del funcionamiento y operación de las tecnologías o la automatización de estas.

Aspecto económico

Para el aspecto económico se definen los requerimientos financieros, que la empresa debe tener frente a los costos de operación que impliquen la adopción de las tecnologías de tratamiento. Las variables que pertenecen a este aspecto se muestran en la figura 5.

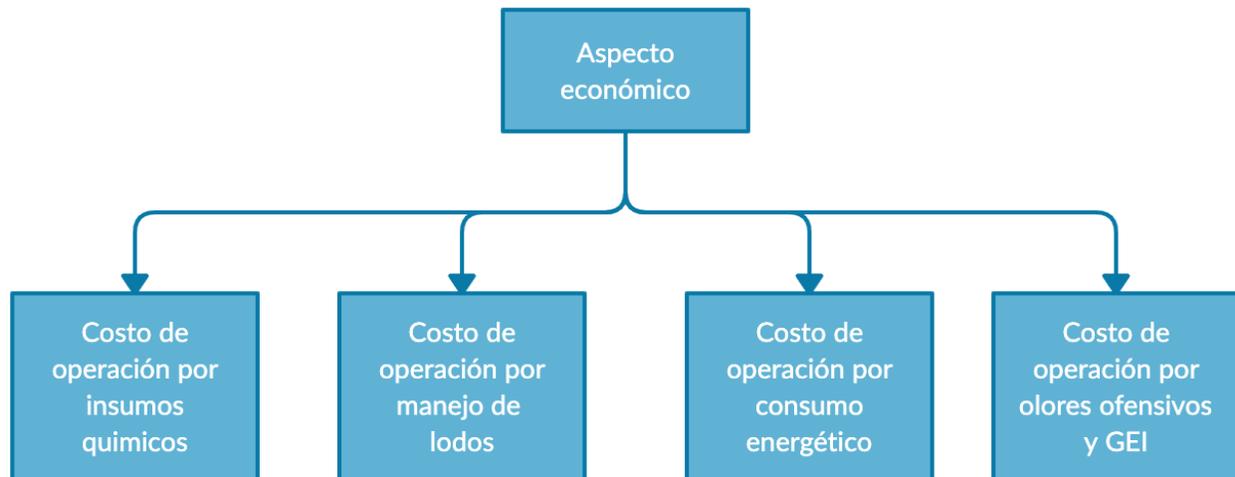


Figura 5. Variables del aspecto económico. **Fuente.** Autores.

La variable correspondiente a “Costo de operación por insumos químicos” representa una estimación de la disponibilidad a pagar por parte de la empresa frente a la operación de las tecnologías de tratamiento recomendadas después de la puesta en marcha de las unidades en términos de uso de químicos de tratamientos de contaminantes. De acuerdo a Rodríguez et al (2015) el manejo de lodos se puede adoptar frente a si se requiere de un tratamiento de subproductos como el biogás y los lodos. La variable “Costos de operación por manejo de lodos” corresponde a la estimación de la disponibilidad a pagar por parte de la empresa frente al precio a pagar por el manejo de los lodos producidos en la operación de las tecnologías.

Por otra parte la variable “Costos de operación por consumo energético”, representa una estimación del requerimiento energético de la tecnología tal y como Hellström y Kärman (2000), Muga y Mihelcic (2008) y Plakas et al (2016) plantean el uso de este criterio como el consumo energético que tiene el tratamiento; si el tratamiento requiere de este consumo o si puede operar simplemente por gravedad. Finalmente, la variable “Costo de operación por olores ofensivos y GEI” está asociada a la disposición por parte de la empresa de contar y manejar los olores ofensivos derivados del tratamiento de agua residual.

IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS

Para la identificación de tecnologías a incorporar en la herramienta, se hizo la construcción de una tabla de información de cada tecnología destacando los siguientes apartados de información: Título del documento, lugar de publicación a aplicación, año de publicación, tipo de tratamiento, apuntes de sistemas de tratamiento, tecnología (nombre), parámetros que remueve, porcentaje o rango de eficiencia, etapa del proceso, criterios de control y fuente o código del documento.

Con estos 11 campos se garantizó la extracción de la mayor cantidad de información disponible en los documentos consultados para su respectivo análisis y posterior incorporación a la herramienta tecnológica. Se tuvo en cuenta alrededor de 54 documentos con diferentes grados de accesibilidad los cuales se comprenden principalmente en documentos relacionados a tesis de pregrado y/o posgrado, libros teóricos y artículos científicos publicados en revistas reconocidas en el medio de la ingeniería a nivel internacional.

De las diferentes fuentes consultadas el 78% de los documentos consultados corresponden a artículos científicos publicados en diferentes revistas de ingeniería y en bases de datos de áreas afines al tratamiento de agua residual, el 17% (9) de los documentos consultados corresponde a trabajos de tesis desarrollados principalmente a nivel de maestría y doctorado y el 5% (3) de los documentos consultados corresponde a libros en donde se consigna información teórica y relevante a tener en cuenta frente al tratamiento de agua residual. La información consultada tuvo en cuenta fuentes provenientes de los continentes África, América, Asia y Europa; en donde el 85% de la información cuenta con una vigencia documental de los últimos 10 años lo cual aporta un grado favorable de actualidad en términos de aplicación de tecnologías novedosas y disponibilidad de la información.

Frente a los tipos de tecnologías consultadas destaca en primer lugar las tecnologías de carácter primario o físico químico con variabilidad en los reactivos químicos a utilizar para la remoción de contaminantes tales como el cromo y los fenoles. En segundo lugar, las tecnologías de tipo terciario que ofrecen la remoción de una mayor cantidad de contaminantes en una misma tecnología representando el tipo de tecnología con más innovación actualmente. Y por último, las tecnologías secundarias y preliminares. Además de esta revisión documental, se identificaron las tecnologías comúnmente aplicadas en el sector productivo en diferentes guías de producción más limpia y reportes recopilados por entidades públicas en Bogotá D.C. Como resultado en la tabla 4 se muestra las tecnologías que se obtuvieron y que se incorporan posteriormente en la herramienta tecnológica:

Tabla 4. Recopilación de tecnologías a incorporar en la herramienta tecnológica

Tipo de tratamiento	Tecnología
Preliminar	Rejillas manuales, rejillas autolimpiantes, desarenador, trampa-grasas, tamiz fino estático, tamizado rotatorio.
Primario	Sedimentador primario, sedimentador alta tasa, DAF disuelto, DAF disperso, coagulación en tubería, coagulación con agitador mecánico, electrocoagulación, floculador de flujo vertical, floculador de flujo horizontal, tanque de igualación aireado, fotocátalisis, carbonización hidrotermal, precipitación química con hidróxido de sodio, precipitación química con hidróxido de calcio, precipitación química con óxido de calcio, precipitación química con cloruro férrico, oxidación por aire, oxidación con peróxido, oxidación por cloro, oxidación con hidróxido de sodio, oxidación electroquímica.
Secundario	SBR, SBBR, filtro percolador, UASB, MBR, lodos activados
Terciario	Filtro de arena, filtro de carbón activado, microfiltración, nanofiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa, fenton, ozonización.

Fuente. Autores

FASE 2

DESARROLLO TÉCNICO DE LA HERRAMIENTA

Con el fin de implementar los mecanismos de filtración en la herramienta de selección se realizó una cualificación a las variables criterio para cada una de las 41 tecnologías seleccionadas

Aspecto técnico

Variable “Etapa del proceso”

La definición de rangos se da principalmente por la información recopilada, en donde en cada fuente se menciona la etapa en la cual se realiza la aplicación de cada tecnología. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología es aplicable para la etapa del proceso:

- a) Ribera
- b) Curtido
- c) Acabados
- d) Ribera y curtido
- e) Ribera y acabados
- f) Curtido y acabados
- g) Ribera, curtido y acabados

Variable “Disponibilidad de área”

La definición de rangos se da por los parámetros de diseño de cada una de las tecnologías. Para este apartado se tuvo en cuenta una comparación por tipo de tratamiento (preliminar, primario, secundario y terciario) y con escenarios bajo un mismo caudal de diseño por tipo de tratamiento; así mismo, en la tabla 5 se muestran los límites obtenidos para cada tipo de tratamiento. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología tiene un requerimiento de área:

- a) Baja
- b) Medio
- c) Alta

Tabla 5. Límites de rangos por tipo de tratamiento.

Rango	Tratamiento preliminar	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
Baja	0.33 m ² a 1.43 m ²	0.13 m ² a 0.74 m ²	32 m ² a 207 m ²	0.14 m ² a 6.75 m ²
Media	1.44 m ² a 2.38 m ²	0.75 m ² a 1.36 m ²	208 m ² a 384 m ²	6.76 m ² a 13.37 m ²
Alta	2.39 m ² a 3.33 m ²	1.37 m ² en adelante	385 m ² a 565 m ²	13.38 m ² a 20 m ²

Fuente. Autores

Variable “Reutilización de subproductos”

La definición de rangos se da principalmente por la información recopilada, en donde en cada fuente se menciona la posibilidad de reincorporar insumos químicos en la tecnología. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología permite una reutilización de subproductos:

- a) Si
- b) No

Variable “Parámetro de remoción”

La definición de rangos se da principalmente por la información recopilada, en donde en cada fuente se menciona los parámetros y eficiencias de remoción; las sustancias incorporadas para esta investigación fueron DBO, DQO, SST, FOG, cloruros, cromo, fenoles y sulfuros. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología permite una remoción de “X contaminante”:

- a) Si
- b) No

Aspecto operativo

Variable “Flujo de agua residual”

La definición de rangos se da principalmente por la información dispuesta en teoría básica y/o catálogos comerciales. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología puede emplearse con un flujo de agua residual de forma:

- a) Continuo
- b) Batches

Variable “Nivel de peligrosidad de insumo químicos”

La definición de rangos se da principalmente por la información recopilada frente al uso de insumos químicos; además de la codificación de la National Fire Protection Association (NFPA) en la norma NFPA 704, para el código de color azul del rombo de seguridad. Los rangos definidos para esta variable son:

El grado de peligrosidad para la operación de la tecnología de tratamiento es:

- a) Mínimo
- b) Ligero
- c) Moderado
- d) Serio

Variable “Requerimiento de operarios”

La definición de rangos se da principalmente por la manera que puede ser operada la tecnología. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología requiere de operarios:

- a) Si
- b) No

Aspecto económico

Variable “Costos de operación por insumos químicos”

La definición de rangos se da por el costo por kilogramo del insumo químico utilizado en caso de requerir. Para este apartado se tuvo en cuenta una comparación por todas las tecnologías incorporadas, en la tabla 6 se muestran los límites obtenidos para esta variable. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología tiene un costo de operación por insumos químicos:

- a) Bajo
- b) Medio
- c) Alto

Tabla 6. Límites de rangos.

Rango	Límite de rango
Bajo	Hasta \$2100 COP/kg
Medio	Hasta \$7200 COP/kg
Alto	Hasta \$15000 COP/kg

Fuente. Autores

Variable “Costos de operación por consumo energético”

La definición de rangos se da por el requerimiento de energía por cada tecnología en caso de requerir. Para este apartado se tuvo en cuenta una comparación por todas las tecnologías incorporadas, en la tabla 7 se muestran las características adoptadas para esta variable. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología tiene un costo de operación por consumo energético:

- a) Bajo
- b) Medio
- c) Alto

Tabla 7. Características de los rangos.

Rango	Tipo de inyección de energía
Bajo	No requiere inyección
Medio	Inyección de energía de forma intermitente
Alto	Inyección de energía de forma constante

Fuente. Autores

Variable “Costos de operación por generación de lodos”

La definición de rangos se da por la generación de lodos para las tecnologías partiendo del porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales de cada tecnología; ya que a mayor remoción de SST, aumenta la generación de lodos y con ello el costo por manejo de ellos. Para este apartado se tuvo en cuenta una comparación por todas las tecnologías incorporadas, en la tabla 8 se muestran límites de remoción adoptados por rango. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología tiene un costo de operación por generación de lodos:

- a) Bajo
- b) Medio
- c) Alto

Tabla 8. Características de rangos.

Rango	Límite de remoción
Bajo	0% - 33%
Medio	34% - 66%
Alto	67% - 99%

Fuente. Autores

Variable “Costos de operación por generación de olores ofensivos y gases de efecto invernadero”

La definición de rangos se da por la generación de subproductos dispuestos en la Resolución 1541 de 2013 en el capítulo 3 para curtido y recurtido de cueros, y los olores ofensivos establecidos para plantas de tratamiento de agua residual en cada tecnología; ya que si la tecnología genera alguno de las sustancias dispuestas en la Resolución mencionada incurre en un costo. Los rangos definidos para esta variable son:

La tecnología tiene un costo de operación por generación de olores ofensivos y gases de efecto invernadero:

- a) Bajo
- b) Alto

Finalmente teniendo en cuenta los rangos establecidos, se evaluó para cada una de las tecnologías las variables y el(los) rango(s) a los cuales aplica, con el fin de construir la base de datos a incorporar en el desarrollo tecnológico de la herramienta.

DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA HERRAMIENTA

Las herramientas tecnológicas son aquellos programas o aplicaciones que permiten tener acceso a información específica de acuerdo a su campo de aplicación; el desarrollo de la herramienta tecnológica se realizó en MS Excel debido a la disponibilidad y facilidad de acceso a este programa.

La herramienta de selección combina Microsoft Excel y Visual Basic para proveer un programa fácil de distribuir por parte de la(s) entidad(es) involucrada(s), adaptable y amigable a los requerimientos de quien haga uso de esta herramienta; mediante la generación de botones y macros; almacenamiento y proyección de información. Lo anterior, con el objetivo de crear un mecanismo que permita guiar a los generadores de agua residual en el sector de curtiembres sobre las diferentes opciones de tratamiento que pueden adoptar de acuerdo a los procesos que estos implementan teniendo en cuenta criterios técnicos, económicos y operacionales; resaltando que esta metodología no reemplaza el trabajo de un ingeniero ambiental y sanitario en la formulación de sistemas de tratamiento para una empresa puntual basado en aspectos específicos como caracterización de agua, espacio disponible, presupuesto, entre otros.

En la figura 6 se muestra la composición de la herramienta de selección.

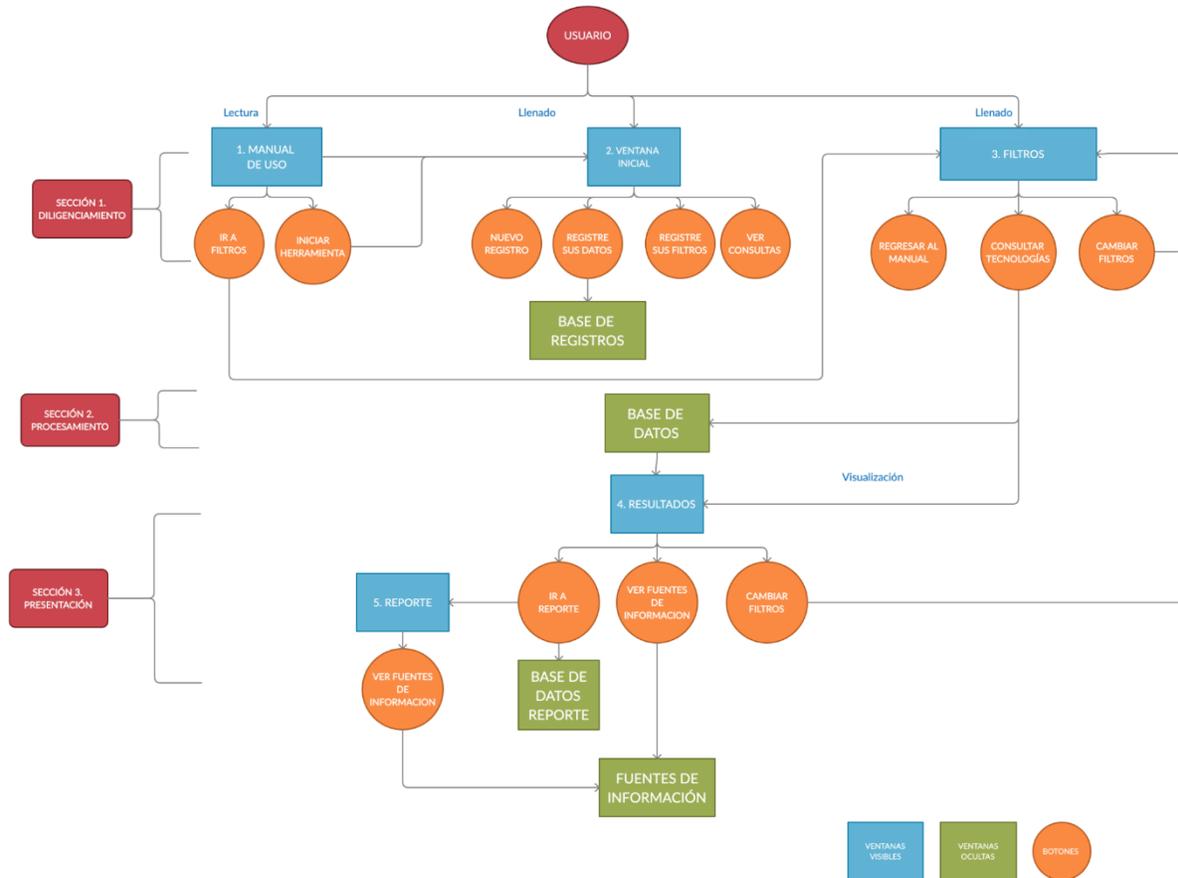


Figura 6. Composición principal de la herramienta. **Fuente.** Autores.

Teniendo en cuenta la figura 6, la sección “Diligenciamiento” corresponde al conjunto de ventanas en donde el usuario debe disponer datos de interés propios de la empresa y de requerimientos para el tratamiento de agua residual. En la sección “Procesamiento” se realiza el almacenamiento de datos generados en el desarrollo técnico de la herramienta y finalmente, la sección “Presentación” es el conjunto de ventanas que muestra las tecnologías recomendadas y características de la misma.

Así mismo, en la tabla 9 se muestra el nombre y función de los botones principales de la herramienta de selección, sin embargo la herramienta se compone de otros botones que no se mencionan en la tabla.

Tabla 9. Nombre y funciones de botones por ventana.

Nombre del botón	Función del botón
Ventana Manual de uso	
1. Iniciar herramienta	Traslada al usuario de la ventana manual de uso a la ventana inicial
Ventana Inicial	
1. Registre sus datos	Copia y almacena la información diligenciada esta ventana
2. Registre sus filtros	Traslada al usuario a la ventana filtros
Ventana Filtros	
1. Consulta tecnologías	Traslada al usuario a la ventana resultados
2. Cambiar filtros	Elimina los datos filtrados previamente en la ventana
Ventana Resultados	
1. Ir a reporte	Traslada al usuario a la ventana reporte
2. Ver fuentes de información	Traslada al usuario a la ventana "fuentes de información" que se encuentra oculta
Ventana Reporte	
1. Ver fuentes de información	Traslada al usuario a la ventana "fuentes de información" que se encuentra oculta

Fuente. Autores

La figura 7 muestra la composición de la herramienta de selección en donde las ventanas de color oscuro corresponden a las ventanas visibles para el usuario y las faltantes, corresponden a las ventanas ocultas para el usuario.



Figura 7. Composición de la herramienta de selección **Fuente.** Autores.

Para el manejo adecuado de la herramienta se hace necesario especificar las ventanas que debe consultar el usuario para la obtención de las tecnologías que genera la herramienta de selección. El usuario debe ingresar a un total de cinco ventanas que le permiten conocer información pertinente a la herramienta, diligenciar sus requerimientos y ver los resultados que arroja la herramienta.

Sin embargo, para evitar una manipulación de información que pueda ser cambiada y/o tergiversada se hace necesario especificar cuáles son las ventanas que contienen información establecida o que almacenen datos de las consultas en la herramienta de selección. Es por esto que existe un total de cuatro ventanas de almacenamiento de información, las cuales no son relevantes en cuanto a la consulta por parte del usuario pero son importantes en el procesamiento y almacenamiento de la información en la herramienta.

Ventana “Manual de uso”

Esta ventana es visible para el usuario. En esta sección de la herramienta se realiza una explicación de las principales consideraciones a tener en cuenta en las ventanas posteriores y una descripción de la función de los botones que se encuentran en toda la herramienta. La figura 8 muestra la composición de esta ventana. Cabe resaltar que en esta ventana se puede realizar un paso tanto a la ventana inicial como a la ventana filtros.



	
MANUAL DE USO	
RECUERDE ACTIVAR LA OPCIÓN MACROS. ESTE PROCEDIMIENTO LO ENCUENTRA EN EL DOCUMENTO MANUAL DE USO	
<p>Esta es una herramienta pedagógica encaminada a conocer y comprender las posibles tecnologías que pueden eventualmente ser utilizadas para el tratamiento de agua residual en su empresa o industria. Por lo anterior, la herramienta no presenta una certeza exacta para implementar tecnologías, para lo cual deberá siempre consultar con un asesor técnico para atender sus necesidades específicas.</p>	
NOTA	<p>Usted encuentra aquí una serie de aclaraciones y observaciones a tener en cuenta en la manipulación de esta herramienta, sin embargo <u>DEBE leer primeramente el documento: MANUAL DE USO</u>.</p>
VENTANA INICIAL	<p style="text-align: center;">En esta ventana usted encuentra una introducción a la herramienta. Tenga en cuenta que debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Diligenciar las celdas NOMBRE DE QUIEN REALIZA LA CONSULTA y NOMBRE DE LA EMPRESA 2. Dar click en el botón REGISTRE SUS DATOS 3. Dar click en el botón REGISTRE AQUÍ SUS REQUERIMIENTOS 4. Diligenciar estas celdas CADA VEZ que haga uso de la herramienta

Figura 8. Composición de la ventana “Manual de uso” **Fuente.** Autores.

Ventana Inicial

Esta ventana es visible para el usuario. En esta ventana se le realiza una introducción al usuario con el fin de explicar el propósito de la herramienta; además en esta se encuentra un espacio en donde se realiza un registro de la información de acuerdo a la fecha de consulta y de la empresa quien realiza la consulta. La figura 9 muestra la composición de esta ventana. Desde esta ventana se puede volver a manual de uso y además se puede ir de manera directa a la ventana filtros.

UNIVERSIDAD DE
LASALLE

Esta es una herramienta pedagógica encaminada a conocer y comprender las posibles tecnologías que pueden eventualmente ser utilizadas para el tratamiento de agua residual en su empresa o industria. Por lo anterior, la herramienta no presenta una certeza exacta para implementar tecnologías, para lo cual deberá siempre consultar con un asesor técnico para atender sus necesidades específicas

Diligencie los datos de su empresa, luego dar click en "REGISTRE SUS DATOS" y posteriormente en "REGISTRE AQUÍ SUS FILTROS". Una vez se registran estos datos, no se deben borrar.

Nombre de quién realiza la consulta	<input type="text"/>
Nombre de la empresa	<input type="text"/>
Fecha de consulta (dd/mm/aa)	14/08/2021

1. REGISTRE SUS DATOS

2. REGISTRE AQUÍ SUS FILTROS

* NUEVO REGISTRO

* VER MANUAL DE USO

* VER MIS CONSULTAS

Figura 9. Composición de la ventana inicial. **Fuente.** Autores.

Ventana "Base de registros"

Esta ventana no es visible para el usuario. En esta ventana se almacenan los datos diligenciados en la ventana inicial con el fin de que el mismo tenga una bitácora de las veces que realiza uso de la herramienta de selección, y de la persona encargada de realizar la consulta. La figura 10 muestra la composición de esta ventana.

Registro de usuarios		UNIVERSIDAD DE LASALLE
Nombre de quien realiza la consulta	Nombre de la empresa	Fecha de consulta

VOLVER A VENTANA INICIAL

Figura 10. Composición de la ventana "Base de registros". **Fuente.** Autores.

Ventana “Filtros”

Esta ventana es visible para el usuario. La ventana filtros es la ventana en donde el usuario muestra los requerimientos a aplicar a las tecnologías de tratamiento de acuerdo a las necesidades de su empresa; el usuario registra los requerimientos específicos de su empresa frente a las variables criterio con el fin que la herramienta le recomiende posibles tecnologías de tratamiento. Así mismo en cada variable se muestra una breve explicación del significado de las mismas. La figura 11 muestra la composición de esta ventana.

SELECCIÓN DE FILTROS			UNIVERSIDAD DE LA SALLE
TENGA EN CUENTA QUE	VARIABLE	OPCIONES DE SELECCIÓN	CRITERIO SELECCIONADO -NO BORRAR-
OBLIGATORIO Seleccionar un criterio para la variable 1 y 2	1. ETAPA DEL PROCESO VER EXPLICACIÓN	RIBERA CURTIDO ACABADOS RIBERA Y CURTIDO RIBERA Y ACABADOS CURTIDO Y ACABADOS RIBERA, CURTIDO Y ACABADOS	
	2. FLUJO DE AGUA RESIDUAL VER EXPLICACIÓN	BATCHES CONTINUO	
OBLIGATORIO Seleccionar máximo 3 variables para esta sección	3. DISPONIBILIDAD DE VER EXPLICACIÓN	ALTA MEDIA BAJA	
	4. REUTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS VER EXPLICACIÓN	SI	
	5. NIVEL DE PELIGROSIDAD DE INSUMOS QUÍMICOS VER EXPLICACIÓN	SERIO MODERADO LIGERO MÍNIMO	
	6. REQUERIMIENTO DE VER EXPLICACIÓN	NO SÍ	
	7. COSTO DE INSUMOS VER EXPLICACIÓN	ALTO MEDIO BAJO	
	8. COSTO POR CONSUMO VER EXPLICACIÓN	ALTO MEDIO BAJO	
	9. COSTO POR GENE VER EXPLICACIÓN	ALTO MEDIO BAJO	
	10. COSTOS POR GENERACIÓN DE OLORES VER EXPLICACIÓN	ALTO BAJO	
Si ya hizo uso de la sección anterior (variables 3 a 10) no haga uso de la sección siguiente (variables 11 a 14). De lo contrario, si no ha usado la sección anterior (variables 3 a 10) puede hacer uso de la sección siguiente (variables 11 a 14).			
OBLIGATORIO Seleccionar máximo 1 variable para esta sección	11. REMOCIÓN DE VER EXPLICACIÓN	SI	
	12. REMOCIÓN DE VER EXPLICACIÓN	SI	
	13. REMOCIÓN DE CROMO VER EXPLICACIÓN	SI	
	14. REMOCIÓN DE VER EXPLICACIÓN	SI	

1. CONSULTE AQUÍ LAS TECNOLOGÍAS 2. CAMBIAR TODOS MIS FILTROS * VER MANUAL DE USO

MANUAL DE USO VENTANA INICIAL **FILTROS** RESULTADOS REPORTE +

Figura 11. Composición de la ventana “Filtros”. Fuente. Autores.

Ventana “Base de datos”

Esta ventana no es visible para el usuario. En esta ventana se consigna toda la información de acuerdo a los requerimientos de las tecnologías incorporadas frente a las variables criterio, y además se realizan los procesos de filtración de acuerdo a las variables consultadas por parte del usuario. Una vez realizados los procesos de filtración, la información obtenida en esta ventana puede ser visible en la ventana “Resultados”. La figura 12 muestra la composición de esta ventana.

Base de datos de unidades de tratamiento													UNIVERSIDAD DE LA SALLE						
Etapas	Flujo de agua residual	Área	Reutilización de subproductos	Peligrosidad de los reactivos	Requerimiento de operación	Costo por insumos químicos	Consumo energético	Costo por generación de lodos	Generación de efluentes	Tipo de tratamiento	Unidad	Id de la unidad	Remoción de DQO	Remoción de DBP	Remoción de SST	Remoción de AVE	Remoción de Fe	Remoción de Sulfuro	Remoción de Cloruro
Ribera	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Curtido	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Acabados	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Ribera y curtido	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Ribera y acabados	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Curtido y acabados	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Ribera, curtido y acabados	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Ribera	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Curtido	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Acabados	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Ribera y curtido	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Ribera y acabados	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Curtido y acabados	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Ribera, curtido y acabados	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas manual	1	No	No	No	No	No	No	No
Ribera	Batches	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Acabados	Batches	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera y curtido	Batches	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera y acabados	Batches	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Curtido y acabados	Batches	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera, curtido y acabados	Batches	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera	Continuo	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Acabados	Continuo	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera y curtido	Continuo	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera y acabados	Continuo	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Curtido y acabados	Continuo	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera, curtido y acabados	Continuo	Media	Si	Mínimo	Si	Baja	Alta	Baja	Baja	Preliminar	Rejillas autolimpiantes	2	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Curtido	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Acabados	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera y curtido	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera y acabados	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Curtido y acabados	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera, curtido y acabados	Batches	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Ribera	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Curtido	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No
Acabados	Continuo	Alta	Si	Mínimo	Si	Baja	Baja	Baja	Baja	Preliminar	Desarenador	3	Si	Si	Si	Si	No	No	No

Figura 12. Composición de la ventana “Base de datos”. Fuente. Autores.

Ventana “Resultados”

Esta ventana es visible para el usuario. En esta ventana se muestra una recopilación de las variables criterio seleccionadas por parte del usuario, también se muestran las tecnologías de tratamiento obtenidas de los mecanismos de filtración generados, el cual es la finalidad principal del desarrollo de la herramienta. Las tecnologías que se muestran en esta ventana son las aplicables al tratamiento de agua de la empresa, más no muestra un tren de tratamiento de agua residual. La figura 13 muestra la composición de esta ventana. Desde esta ventana se puede volver a la ventana filtros o seguir a la ventana reporte.



SECRETARÍA DE
AMBIENTE
BOGOTÁ

Aquí se muestran las tecnologías sugeridas para su empresa



UNIVERSIDAD DE
LASALLE

RESUMEN DE CRITERIOS SELECCIONADOS

Variable	Criterio seleccionado
ETAPA DEL PROCESO	
FLUJO DE AGUA RESIDUAL	
DISPONIBILIDAD DE ÁREA	
REUTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS	
PELIGROSIDAD DE LOS REACTIVOS	
REQUERIMIENTO DE OPERARIOS	
COSTO DE INSUMOS QUÍMICOS	
CONSUMO ENERGÉTICO	
GENERACIÓN DE LODOS	
GENERACIÓN DE OLORES OFENSIVOS	

TECNOLOGÍAS RECOMENDADAS

Tipo de tratamiento	Tecnología recomendada	Id de la unidad
Estas son las tecnologías recomendadas; sin embargo, no representan el tren de tratamiento para su empresa		

RESUMEN DE CONTAMINANTES SELECCIONADOS

Variable	Criterio
REMOCIÓN DE CLORUROS	
REMOCIÓN DE FENÓLES	
REMOCIÓN DE CROMO	
REMOCIÓN DE SULFUROS	

1. CONOZCA AQUÍ EL DETALLE DE LAS TECNOLOGÍAS

2. VER FUENTES DE INFORMACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

* REGRESAR A MIS FILTROS

MANUAL DE USO VENTANA INICIAL FILTROS **RESULTADOS** REPORTE +

Figura 13. Composición de la ventana “Resultados”. **Fuente.** Autores.

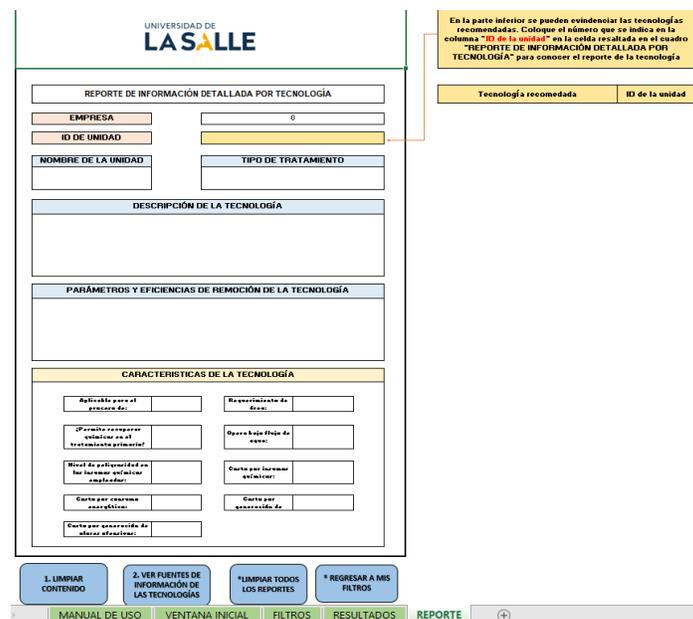
Ventana “Base de datos reporte”

Esta ventana no es visible para el usuario. En esta ventana se adjunta la información que describe cada una de las tecnologías en un lenguaje técnico pero amigable con el usuario lo cual permite dar a entender el funcionamiento y/o la finalidad de la misma además de los diferentes parámetros y porcentajes de remoción. La información aquí consignada es visible para el usuario en la ventana “Reporte”. La figura 14 muestra la composición de esta ventana.

BASE DE DATOS PARA REPORTE											UNIVERSIDAD DE LASALLE			
ID DE LA TECNOLOGÍA	TIPO DE TRATAMIENTO	NOMBRE DE LA TECNOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA	PARAMETRO Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN	ETAPA DEL PROCESO	DISPONIBILIDAD DE ÁREA	REUTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS	FLUJO DE AGUA RESIDUAL	PELIGROSIDAD DE REACTIVOS	REQUERIMIENTO DE OPERARIOS	COSTO POR INSUMOS QUÍMICOS	COSTO POR CONSUMO ENERGÉTICO	COSTO POR MANEJO DE LODOS	GENERACIÓN DE OLORES OFENSIVOS Y/O GAS
1	Preliminar	Rejillas manuales	Esta unidad, es un mecanismo de control de sólidos de dimensiones grandes que succiona el taparrámiento en las tuberías, su mantenimiento se realiza de manera manual.	Para DBO, DQO, SST, aceites y grasas, fenoles, uranio, sulfuros y cianuros no se registran eficiencias de remoción. DQO: 5% - 10% DBO: 5% - 10% SST: 2% - 20% ATD: 5%	Ribera, curtid y acabados	Alto	No	Batches y continuo	Mínimo	Si	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
2	Preliminar	Rejillas autoimplantes	Esta unidad, es un mecanismo de control de sólidos de dimensiones grandes que succiona el taparrámiento en las tuberías, su mantenimiento se realiza de manera automática.	Para fenoles, cromo, sulfuros y cianuros no se registran eficiencias de remoción.	Ribera, curtid y acabados	Medio	No	Batches y continuo	Mínimo	Si	Bajo	Alto	Bajo	Bajo

Figura 14. Composición de la ventana “Base de datos reporte”. **Fuente.** Autores.

Esta ventana es visible para el usuario. En esta ventana se presenta a manera de documentación las características de la tecnología en materia de particularidades de la misma y de las variables criterio. Esta ventana debe consultarse por parte del usuario si este quiere conocer en detalle las tecnologías que recomienda la herramienta de selección y el mismo debe digitar las unidades que quiere conocer mediante el reporte de las tecnologías. La figura 15 muestra la composición de esta ventana. Una vez leídos los reportes de las tecnologías se espera que el usuario tenga una idea de las alternativas de tratamiento que puede aplicar a su empresa, llegando al final de la manipulación de la herramienta.



The screenshot shows a web-based form titled 'UNIVERSIDAD DE LASALLE' with the following sections:

- REPORTE DE INFORMACIÓN DETALLADA POR TECNOLOGÍA**: Includes input fields for 'EMPRESA', 'ID DE UNIDAD', 'NOMBRE DE LA UNIDAD', and 'TIPO DE TRATAMIENTO'.
- DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA**: A large text area for detailed description.
- PARÁMETROS Y EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LA TECNOLOGÍA**: A section for technical parameters.
- CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA**: A grid of input fields for various characteristics such as 'Aplicable para el proceso de...', 'Requerimiento de flujo', 'Operación bajo flujo de agua', 'Nivel de eficiencia en las horas pico', 'Costo por litro de agua tratada', 'Costo por consumo energético', and 'Costo por operación de planta de tratamiento'.

At the bottom, there are navigation buttons: '1. LIMPIAR CONTENIDO', '2. VER FUENTES DE INFORMACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS', '3. LIMPIAR TODOS LOS REPORTES', and '4. REGRESAR A MIS FILTROS'. A progress bar at the very bottom shows the current step: 'MANUAL DE USO', 'VENTANA INICIAL', 'FILTROS', 'RESULTADOS', and 'REPORTES'.

Figura 15. Composición de la ventana “Resultados”. **Fuente.** Autores.

Ventana “Fuentes bibliográficas”

Esta ventana no es visible para el usuario. En esta ventana se muestran las fuentes de información tenidas en cuenta para el desarrollo técnico de la herramienta.

VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE SELECCIÓN

El contenido de la herramienta en su desarrollo técnico y tecnológico fue socializado con tres diferentes expertos en el tratamiento de agua residual doméstica y/o industrial. Este proceso obtuvo una favorabilidad global del 85% en la aplicabilidad de la herramienta obteniendo un grado alto de favorabilidad. En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos en la validación de la herramienta de selección.

Tabla 10. Resultados obtenidos de la validación.

Código	Criterio	Puntuación global (4 puntos posibles)	
		Cuantitativa	Cualitativa
A.1	Manual de uso: Claridad, interpretación y conocimiento del uso de la herramienta	3,3	Bueno
A.2	Ventana inicial: Relevancia	3,0	Bueno
A.3	Ventana de selección: Cantidad de variables criterio	3,3	Bueno
A.4	Ventana de selección: Claridad en la definición de variables criterio	3,7	Muy bueno
A.5	Ventana de selección: Rangos de las variables criterio. (Ej. Alto, medio, bajo)	3,3	Bueno
A.6	Resultados: Veracidad y lógica de las tecnologías recomendadas	3,0	Bueno
A.7	Reporte: Aplicabilidad, contundencia y fiabilidad de la información	3,3	Bueno
B.1	La cantidad de ventanas en la herramienta es:	3,7	Muy bueno
B.2	El orden de las ventanas es:	3,7	Muy bueno
B.3	La cantidad de botones por ventana en la herramienta es:	3,7	Muy bueno
B.4	La gama de colores empleados en la herramienta es:	3,7	Muy bueno
B.5	El lenguaje manejado en la herramienta es:	3,7	Muy bueno
B.6	La navegación con respecto a la fluidez en la herramienta es:	3,3	Bueno
B.7	La comodidad en el manejo de la herramienta es:	3,0	Bueno
PUNTUACIÓN TOTAL		3,4	Bueno
		Favorabilidad: 85%	

Fuente. Autores.

Los criterios pertenecientes al apartado A se caracterizan por tener una valoración cualitativa “Bueno” en donde los criterios identificados por el código A.2 y A.6 obtienen el menor puntaje promedio. Los criterios pertenecientes al apartado B se caracterizan por tener una valoración cualitativa “Muy bueno”, frente a la cantidad, orden y composición de las ventanas en la herramienta de selección. Sin embargo, los criterios que registraron una menor puntuación fueron los identificados con el código B.6 y B7 con una valoración cualitativa “Bueno” frente a la navegación y comodidad del manejo de la herramienta.

Así mismo, se destaca que el 43% de los criterios evaluados tienen una valoración “Muy bueno” y el porcentaje restante como “Bueno”. Ningún criterio evaluado obtuvo como puntuación ponderada una valoración de “Malo” o “muy malo”. La puntuación total de la herramienta cuenta con el 85% de favorabilidad, con una valoración cualitativa “Bueno” para el contenido técnico y tecnológico de la herramienta de selección. Este grado de favorabilidad y la puntuación alcanzada permite la aprobación de la herramienta de selección frente a la validación de la herramienta tecnológica.

FASE 3

El contenido del manual de uso diseñado consta de 8 diferentes apartados en donde se realizan especificaciones puntuales a tener en cuenta para el manejo adecuado de la herramienta. Este documento está basado principalmente en la experiencia frente al uso de la herramienta de selección por parte de los autores, de estudiantes y expertos a nivel práctico. Las observaciones realizadas por los expertos se tienen en cuenta en las especificaciones puntualizadas en este manual de usuario; la tabla 11 muestra el contenido principal del manual de usuario.

Tabla 11. Contenido del manual de usuario.

Apartado	Contenido principal
1. Introducción	Preámbulo y consideraciones de la herramienta
2. Alcance de la herramienta	Especificaciones de la investigación
3. Finalidad de la herramienta	Disposición del objeto central
4. Organización de la herramienta	En este apartado se menciona el programa utilizado para el desarrollo de la herramienta, y las tres secciones principales que la componen
5. Instalación y configuración	Procedimiento que debe realizar el usuario para activar la herramienta en su ordenador. Activación de macros
6. Consulta de las ventanas de la herramienta	Explicación de las ventanas visibles para los usuarios, de los botones y sus funciones
7. Ejemplo de aplicación	Pautas principales para el diligenciamiento
8. Glosario	Recopilación de términos a tener en cuenta frente al manejo de la herramienta, MS Excel y tratamiento de agua

Fuente. Autores.

Conclusiones

Se desarrolló una herramienta en MS Excel que permite guiar a las empresas del sector de San Benito para la elección de tecnologías de tratamiento de agua residual provenientes del proceso productivo de curtiembres, con el fin de dar a conocer diferentes opciones de tratamiento para las empresas que pretendan controlar las descargas de sus aguas residuales.

Se identificaron once variables criterio que responden a las principales preguntas que surgen al momento de formular tecnologías de tratamiento de agua residual específicos en cualquier industria y se incorporaron como filtros de selección para la herramienta tecnológica logrando un vínculo de información entre el usuario que consulta la herramienta y el experto en tratamiento de agua que formula el tren de tratamiento.

Partiendo de las once variables criterio y teniendo en cuenta que se estimó el valor de cada una para las 41 tecnologías incorporadas en la herramienta se cuenta con 451 datos que le permiten al usuario una ampliación en el espectro de características que puede seleccionar para las tecnologías que podrían alimentar el tratamiento de agua.

Se desarrolló la herramienta de selección de unidades de tratamiento mediante el software Excel y la herramienta Macros incorporando procesos de programación soportados desde la ingeniería de sistemas e industrial dando origen a cinco ventanas visibles para el usuario y cuatro ventanas de almacenamiento y procesamiento de información soportada técnicamente desde la ingeniería ambiental.

La herramienta se expuso a diferentes expertos en el tratamiento de agua residual, en donde se realizaron diferentes encuentros para dar un concepto final de esta. La herramienta de selección cuenta con un grado de favorabilidad del 85% frente a los criterios evaluados por parte de los expertos, lo cual permitió la validación de esta herramienta.

A partir del desarrollo de la herramienta y el juicio de expertos realizado, se diseñó la guía de uso e implementación, la cual consta de ocho apartados en donde se realiza una descripción de las ventanas, secciones y funciones de la herramienta tecnológica. Además se ejemplifica el proceso de navegación en la herramienta con el fin de guiar de manera práctica al usuario.

A partir del desarrollo de la herramienta y el juicio de expertos realizado, se diseñó la guía de uso e implementación, la cual consta de ocho apartados en donde se realiza una descripción de las ventanas, secciones y funciones de la herramienta tecnológica.

El presente proyecto se espera que sea utilizado por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, por lo tanto la distribución de la herramienta desarrollada actualmente se encuentra restringida.

Agradecimientos. Agradecemos el apoyo de María Alejandra Erazo y Nadia Yadine Rojas por su acompañamiento. A los ingenieros Andrés Bastidas, Andrés Contreras y Roberto Balda por su ayuda en la etapa de validación.

Referencias bibliográficas

Balkema A, Preisig H, Otterpohl R, Lambert J. (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water*, 4(2), 153–161.

[http://doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00014-6](http://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00014-6)

Birbuet J, Landivar C. (2016). Guía Técnica de Producción Más Limpia para Curtiembres. CPTS Bolivia.

DANE, D. A. (2015). Cuentas Trimestrales – Colombia, Producto Interno Bruto (PIB). Obtenido de <http://www.dane.gov.co>

Emmer V, del Campo M. (2014). Guía de Producción Más Limpia en el Sector Curtiembres. Guía de Producción Más Limpia en el Sector Curtiembres. Montevideo: FREPLATA. Fecha de consulta: 19 de octubre 2020.

Obtenido de https://docplayer.es/33973777-Guia-de-produccion-mas-limpia-en-el-sector-curtiembres.html#tab_1_1_2

Garrido-Baserba M, Reif R, Molinos-Senante M, Larrea L, Castillo A, Verdaguer M, Poch M. (2016). Application of a multi-criteria decision model to select design choices for WWTPs. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1–13.

<http://doi.org/10.1007/s10098-016-1099-x>

Gao, Guang-Xin & Fan, Zhi-Ping & Zhang, Yao. (2015). MADM method considering attribute aspirations with an application to selection of wastewater treatment technologies. *Kybernetes*. 44. 739-756.

<http://doi.org/10.1108/K-07-2014-0161>

Hellström D, Kärrman E. (2000). A framework for systems analysis of sustainable urban water management. *Environmental Impact Assessment Review*, 20, 311-321.

[http://doi.org/10.1016/S0195-9255\(00\)00043-3](http://doi.org/10.1016/S0195-9255(00)00043-3)

Ilangkumaran M, Sasirekha V, Anojkumar L, Sakthivel G, Raja M, Raj S, Kumar, S. (2013). Optimization of wastewater treatment technology selection using hybrid MCDM. *Management of Environmental Quality*, 24(5), 619–641.

<http://doi.org/10.1108/MEQ-07-2012-0053>

Kalbar P, Karmakar S, Asolekar, S. (2016). Life cycle-based decision support tool for selection of wastewater treatment alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 117, 64–72.

<http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.036>

Molinos-Senante M, Gomez T, Caballero R, Hernandez-Sancho F, Sala-Garrido R. (2015). Assessment of wastewater treatment alternatives for small communities: An analytic network process approach. *Science of the Total Environment*, 532, 676–687.

<http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.059>

Muga H, Mihelcic J. (2008). Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, 88, 437–447.

<http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.008>

Plakas, K. V., Georgiadis, A. A., & Karabelas, A. J. (2016). Sustainability assessment of tertiary wastewater treatment technologies: a multi-criteria analysis. *Water Science and Technology*, 73(7), 1532–1540.

<http://doi.org/10.2166/wst.2015.630>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2017). Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá. Enfoque en vertimientos y residuos. (V. V. Vásquez, Ed.)

Zeng G, Jiang R, Huang G, Xu M, Li J. (2007). Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of Environmental Management*.

<http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.12.024>

Non conventional renewable energies to fulfill energy demands: analysis of 1990 to 2018 trends.

Maria Carolina Romero Pereira¹, Ana María Higinio Pulido^{2*}

¹Centro de Estudios Ambientales, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

² Estudiante, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

*Autor corresponsal: Cll 173 #19-75 int.11-apto.203, cel: 3006742579– Barrio:La Uribe, Ciudad: Bogotá D.C. País:Colombia. Email: ana.higinio@mail.escuelaing.edu.co

ABSTRACT

The purpose of this article is to analyse the progress after 3 decades of efforts to migrate to renewable energies, specifically non-conventional renewables. Data on final energy production and consumption were analyzed by regions, as defined by the International Energy Agency (IEA), and a timeframe between 1990 and 2018.

Although the production of renewables in the last three decades almost doubled, the share of different types of energy sources did not change substantially: the percentage of energy produced with fossil fuels in 2018 accounted for 81% of the total, just as in 1990. Total energy consumption from renewables went from 15.4% in 1990 to 15.9% in 2018. Non conventional renewables went from 0.1% to 19% in the same period of time.

In 2018, Iceland was the economy with the highest percentage of final energy consumption coming from non-conventional renewables, with roughly 42% from geothermal energy. Denmark ranked second, with 10% of the final demand supplied with non-conventional renewables.

It was found that smaller-scale economies allow higher participation of non conventional renewable energies, while renewables generated with biomass and hydropower have a greater scope for larger-scale energy matrices. However, environmental impacts related to conventional and non-conventional renewables must be considered, if the environmental cost of development is intended to be reduced.

KeyWords: Energy production, Final energy consumption, Non-conventional renewable energies, Renewable energy, Sustainable Development.

ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES PARA SATISFACER LA DEMANDA ENERGÉTICA: ANÁLISIS DE TENDENCIAS ENTRE 1990 Y 2018

RESUMEN

Con el propósito de analizar el resultado de casi tres décadas de esfuerzos por migrar a un suministro energético basado en energías renovables (ERs), específicamente en ERs no convencionales (ERNCS), se analizaron datos sobre producción y consumo energético en las regiones definidas por la Agencia Internacional de Energía (IEA), entre 1990 y 2018.

Se encontró que, aunque la producción global de ERs casi se duplicó en las últimas tres décadas, las fuentes de energía producida no han cambiado sustancialmente, ya que el porcentaje de energía producida con combustibles fósiles (CFs) se mantuvo en el 81%. Al revisar el consumo energético final, se encontró entre 1990 y 2018 una demanda global abastecida con ERs que pasó del 15.4% a 15.9%. Para las ERNCs, este valor pasó del 0.1% al 1.9%.

En 2018, Islandia era la economía con mayor porcentaje del consumo energético final proveniente de ERNCs, en donde cerca del 42% provenía de energía geotérmica. Las ERNCs en ninguna otra economía tuvieron este alcance, siendo Dinamarca el país que ocupó el segundo lugar, con un 10%.

En general, las economías con matrices energéticas de menor escala logran un mayor porcentaje de participación de ERNCs en el consumo energético final. Las ERs generadas con biomasa y energía hidráulica históricamente han tenido un mayor alcance en las matrices energéticas de mayor escala, aunque el alto impacto ambiental asociado a estas formas de generación de energía debe ser considerado.

Palabras clave: Consumo final de energía, Desarrollo Sostenible, Energía renovable, Energías renovables no convencionales, Producción energética.

Introducción:

Desde hace décadas, las ERs son reconocidas como pilar del desarrollo sostenible (DS), con la premisa de alcanzar el bienestar poblacional para todos, al menor costo ambiental posible (Dincer, 2000). Una de las principales preocupaciones ambientales a nivel global se centra en la posibilidad de que el calentamiento global genere efectos catastróficos, si mantenemos los patrones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) estima que el uso de CFs representa más de la mitad del total de emisiones de GEI a nivel global y que la provisión de servicios energéticos constituye la mayor fuente de generación de GEI. En el Informe especial del IPCC sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático (Moomaw, et al., 2011) estiman que las emisiones de CO₂ asociadas a diferentes formas de ERs son del orden del 1 al 10% de las típicamente asociadas a los CFs. La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) considera que lograr la descarbonización del sistema energético global es una de las principales estrategias para mitigar los riesgos asociados al cambio climático (IRENA, 2017).

World Bank, IFC y MIGA (2016) consideran además que el uso de ERNCs y la eficiencia energética son claves para lograr el DS, no sólo por el potencial de reducción de GEI a partir de su implementación, sino también por el potencial de extender el servicio energético a zonas no interconectadas, en donde millones de personas permanecen sin acceso al suministro de energía.

Dada la reconocida importancia del asunto, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), estableció dentro de la agenda internacional para lograr el desarrollo sostenible, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) No. 7, que consiste en lograr energía asequible y no contaminante, resaltando la necesidad de invertir en fuentes de energía tales como la solar, la eólica y la termal. PNUD (2015) coincide con las demás entidades mencionadas en que la economía actual depende en gran medida de CFs, lo que está generando importantes cambios en el clima. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) plantea la implementación de ERs como centro de las estrategias para lograr el DS en la región, resaltando que la matriz energética de América Latina es altamente dependiente de CFs (CEPAL, 2014).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) por su parte, desde hace décadas ha advertido acerca de la necesidad de migrar hacia una matriz energética basada en ERs, no sólo para mitigar las dinámicas que ocasionan el cambio climático (WWF, 2017). sino también para mitigar sus efectos sobre la salud humana, ya que que el uso de CFs

y la combustión de biomasa como fuentes de energía implican la liberación de grandes cantidades de contaminantes atmosféricos, ocasionando daños en la salud humana. El Consejo Ejecutivo de la OMS (1991) advertía ya hace unos 30 años, acerca de la necesidad de dedicar más recursos a la investigación, desarrollo e implementación de ERs como una de las estrategias necesarias para reducir las implicaciones adversas del medio ambiente en la salud pública.

Metodología:

Se analizaron las matrices energéticas de siete regiones definidas por la IEA (2020), conformadas por 141 economías que representan el 96% de la población mundial, según cálculos obtenidos con cifras de población total en Banco Mundial (2020). Se utilizó como ventana de tiempo el periodo comprendido entre 1990 y 2018, con el fin de conocer cuál ha sido el alcance de los resultados de casi tres décadas de esfuerzos por migrar a formas de energía menos contaminantes, haciendo énfasis en ERNCs. El análisis se centra en cifras de producción y de consumo energético total por fuente de energía en las regiones IEA.

Para el análisis, las diferentes fuentes de energía fueron clasificadas siguiendo lo establecido por la IEA en el Manual de Estadísticas Energéticas (IEA, OCDE y EUROSTAT, 2005): i) CFs, que incluyen hidrocarburos –petróleo y sus productos, gas– y carbón; ii) ERs, que a su vez se subdividen en hidráulica, biomasa y ERNCs; y c) energía nuclear.

Se implementó también la división regional de la IEA, siendo la página oficial de esta entidad la principal fuente de información del estudio. Así, el análisis por regiones se realizó para: 1) Europa; 2) Norte América; 3) América Central y del Sur – en adelante Latinoamérica y el Caribe (LA&C); 4) Asia-Pacífico; 5) África; 6) Oriente Medio; y 7) Comunidad de Estados Independientes (CIS) o Eurasia. En la Figura 1 se presentan las economías incluidas en las diferentes regiones IEA y las que no hacen parte de estas regiones y por lo tanto, de este análisis.

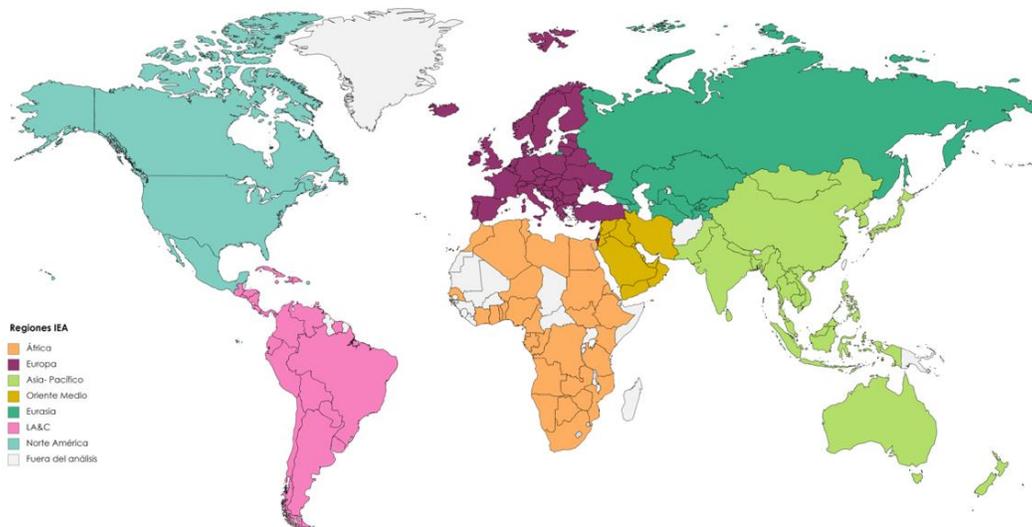


Figura 1. Países reportados por regiones IEA (2020). Creado utilizando la herramienta mapchart.net (2021)

La IEA utiliza factores de conversión para expresar diferentes tipos de combustibles y formas de energía –tales como energía primaria, electricidad y calor– en unidades de energía conmensurables, que pueden ser equivalencias en joules o en unidades de masa, de carbón o de petróleo. Esto permite realizar comparaciones y operaciones algebraicas para obtener un panorama de los balances energéticos de una economía. A lo largo de este documento se emplean unidades equivalentes de petróleo expresadas por sus siglas en inglés (e.gr. toe, ktoe, Mtoe o Gtoe de petróleo), de acuerdo con el Manual de Estadísticas Energéticas de la (IEA, OCDE y EUROSTAT, 2005). Es importante anotar que estas son unidades de energía y no deben ser confundidas con unidades de masa.

El análisis de matrices energéticas se concentró en dos elementos fundamentales: el suministro energético y el consumo energético de un territorio. Se analizó el panorama por regiones y se incorporó el análisis de algunas economías de interés, destacadas por su producción y/o consumo de ERs y de ERNCs.

- **Suministro energético**

El suministro energético o Total Energy Supply (TES) es el total de energía que abastece un territorio y se calcula como la suma de la energía primaria producida e importada, más o menos reservas de combustible, menos las exportaciones (OCDE, 2020).

Recientemente la IEA añadió a esta contabilidad el total de electricidad que abastece la matriz energética de un territorio (e.gr. almacenamiento o importaciones de electricidad), por lo que el TES corresponde al indicador tradicionalmente conocido como Total Primary Energy Supply (TPES), incorporando valores de energía secundaria en su contabilidad.

- **Consumo final de energía**

El consumo final total de energía o Total Energy Supply (TFC) permite estimar la energía que demandan las actividades de una economía dentro de su territorio. El TFC incluye la energía primaria que ha sido transformada en formas de energía utilizables (como electricidad, combustibles o calor) y la energía primaria directamente utilizada.

Por último, y considerando la naturaleza de las temáticas implicadas en el análisis, se incorporó una breve revisión del impacto ambiental implicado en la generación de diferentes formas de ERNCs, más allá de la generación directa de GEI.

Resultados:

TES global

Al revisar el TES global por tipo de energía (Figura 2), se encuentra que en 2018, al igual que en 1990, los CFs representaron el 81.2% de este indicador; las ERs en el TES pasaron del 12.8% al 13.8%, y la energía nuclear pasó del 6% al 4.9%.

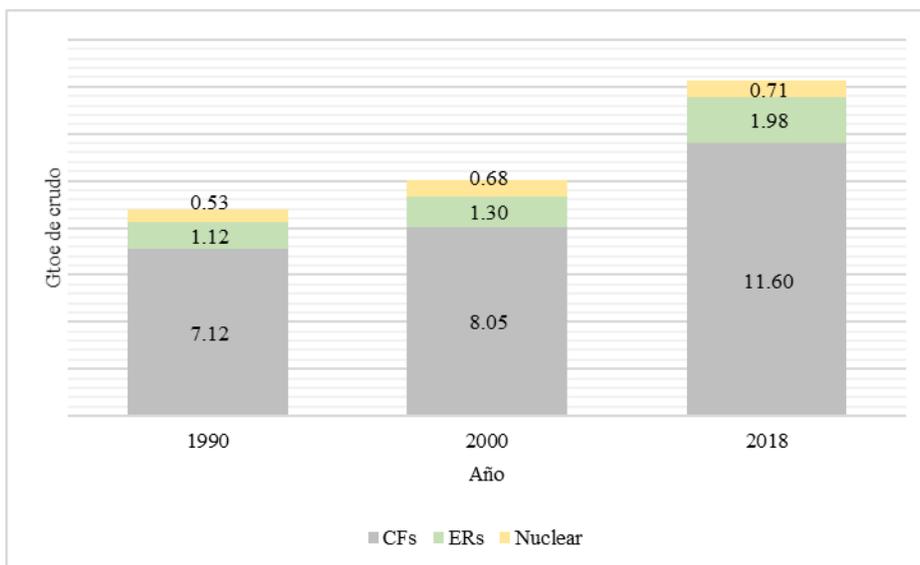


Figura 2. TES global (Gtoe de crudo), años 1990, 2000 y 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

TES por regiones IEA

Al revisar el TES por región IEA, se encuentra que la región Asia-Pacífico pasó de representar el 26% del global en 1990 a un 43% en 2018, aún cuando su población se mantuvo en el 57% del total. De esta forma, el TES per cápita de Asia-Pacífico se duplicó en las últimas 3 décadas. No obstante, Norteamérica se mantiene como la región IEA con mayor TES per cápita, seguido por Eurasia y Europa, en donde el TES per cápita es hasta 5 veces el de Asia o hasta 9 veces el de África (Figura 3).

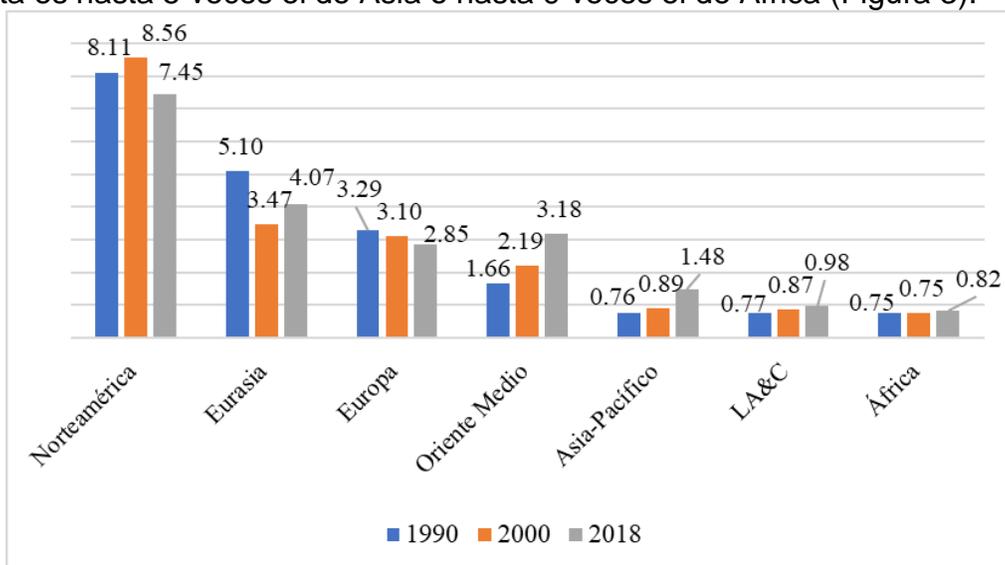


Figura 3. TES per cápita, por región (toe anuales), años 1990, 2000 y 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

Es importante notar que, en el período analizado, las regiones Oriente Medio y Asia-Pacífico casi duplicaron su TES per cápita, mientras que Eurasia, Europa y Norteamérica tuvieron una reducción del 20%, 13% y 8% respectivamente.

TES por regiones IEA y por tipo de energía

Desde hace décadas, el TES proveniente de ERs de manera directa (TES_{ERD}) en África se ha mantenido por encima del 50% (Figura 4); esto se debe a que la producción de energía a partir de biomasa en la región es tradicional (Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo y Banco Mundial, 2020). En LA&C este valor se mantuvo relativamente constante durante el período analizado, con un valor cercano al 33%. El mayor avance se presenta en Europa, en donde el TES_{ERs} pasó del 5% al 15% y en Norteamérica, en donde pasó del 7% al 9%. En Eurasia, se encuentra un TES_{ERs} del 3% y en las economías de la región Oriente Medio este valor es prácticamente nulo.

La región de Asia-Pacífico redujo su TES_{ERD} casi a la mitad, pasando de 24% en 1990 a 13% en 2018. En esta última región, el TES de CFs aumentó.

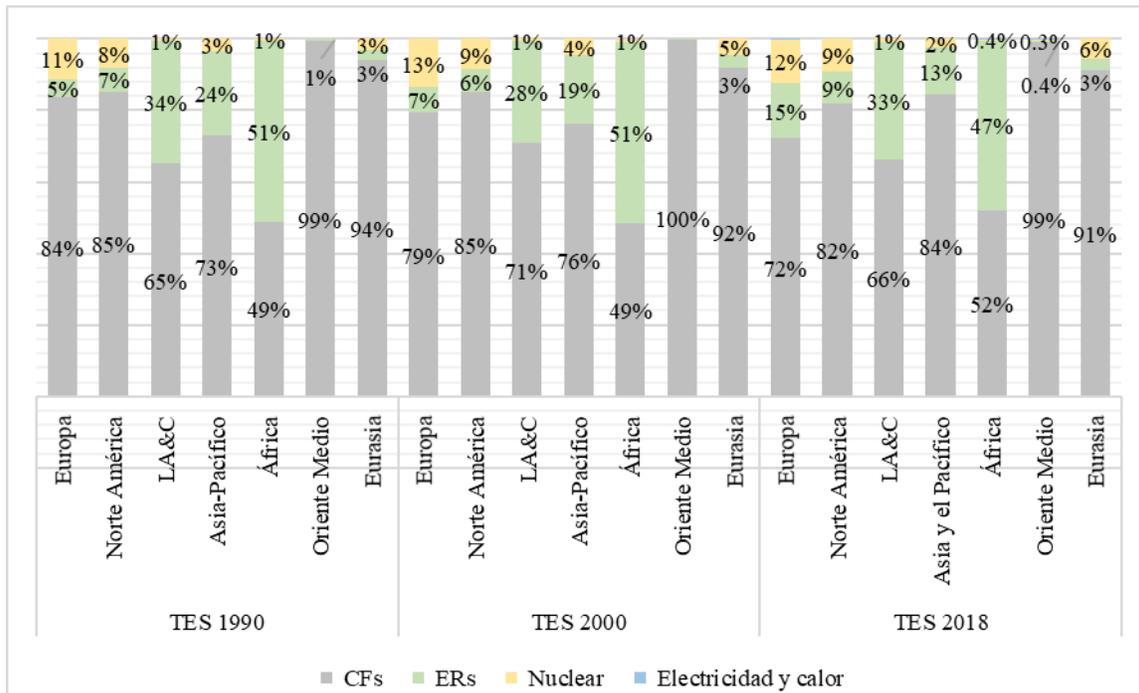


Figura 4. TES por tipo de energía. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

ERs en el TES, por tipo de ER

La energía hidráulica predomina en Oriente Medio y en Eurasia, en donde representa el 55% y 70% del TES_{ERD}, respectivamente (Figura 5).

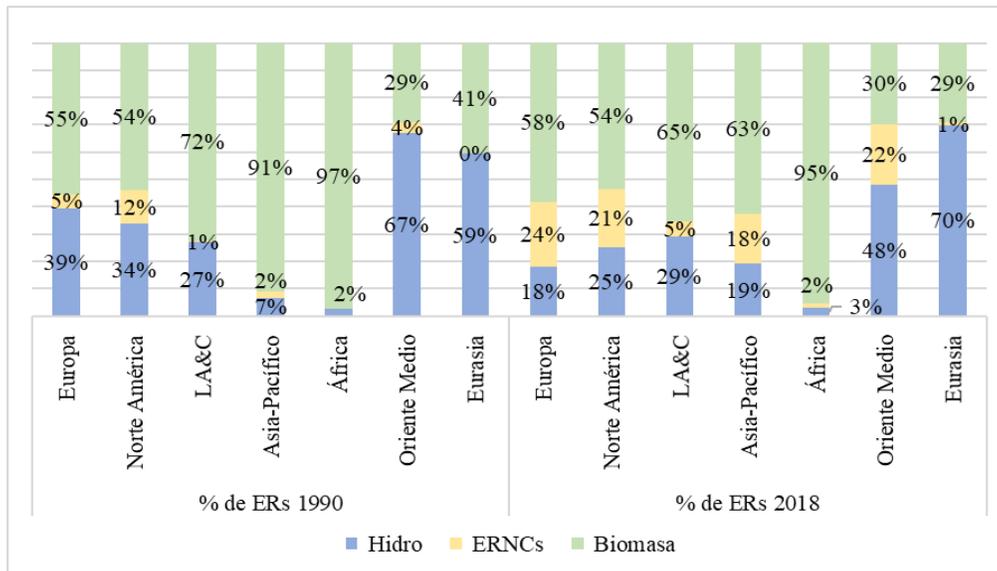


Figura 5. TES_{ERD} por región y por tipo, 1990 y 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

La energía generada con biomasa predomina en las demás regiones: en Norteamérica el 54% del TES_{ERs} se genera con esta forma de energía y en África el 95%. En cuanto a las ERNCs, se encuentra que éstas han tomado fuerza en los territorios de Europa y Asia-Pacífico, pasando del 5% al 24% y del 2% al 18% del TES_{ERs} proveniente de ERNCs respectivamente. En este período, las ERNCs también tomaron fuerza en las regiones Norte América y Oriente Medio, pasando del 12% al 21% y del 4% al 22% del TES_{ERs} proveniente de ERNCs respectivamente.

ERNCs en el TES (TES_{ERNCs})

En términos absolutos, la región con mayor TES_{ERNCs} en 2018 fue Asia-Pacífico, con 143.7 Mtoe en 2018, seguido por Europa (72 Mtoe) y Norteamérica (51.4 Mtoe). No obstante, ese año el mayor TES_{ERNCs} (Tabla 1) se registró en Europa, con un valor del 3.6%. En las demás regiones este valor alcanzó un máximo de 2.4%.

A nivel global (Figura 6), esto significa que el TES_{ERNCs} pasó del 0.4% en 1990, al 2% en 2018.

Tabla 1. ERNCs en el TES. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

Región IEA	1990	2018
Europa	0.3%	3.6%
Norte América	0.8%	1.9%
LA&C	0.2%	1.8%
Asia-Pacífico	0.5%	2.4%
África	0.1%	0.8%
Oriente Medio	0.0%	0.1%
CIS (Eurasia)	0.0%	0.0%

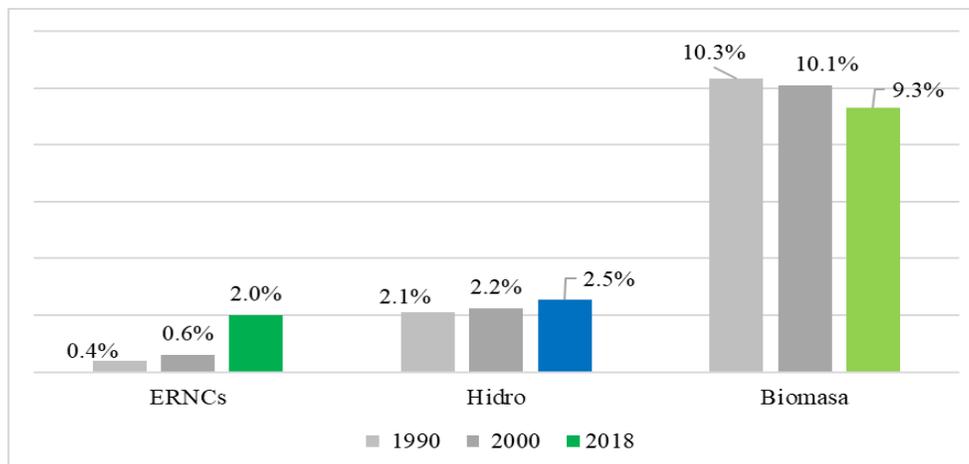


Figura 6. TES_{ERs} global, años 1990, 2000 y 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

TFC global

Entre 1990 y 2018, el TFC por tipo de energía no cambió sustancialmente: casi el 70% del TFC se abasteció con CFs y el uso directo de ERs en el TFC (TFC_{ERs}) pasó del 13% al 11%. Por su parte, la energía eléctrica generada (EEG) para abastecer el TFC tuvo un incremento del 13% al 19%.

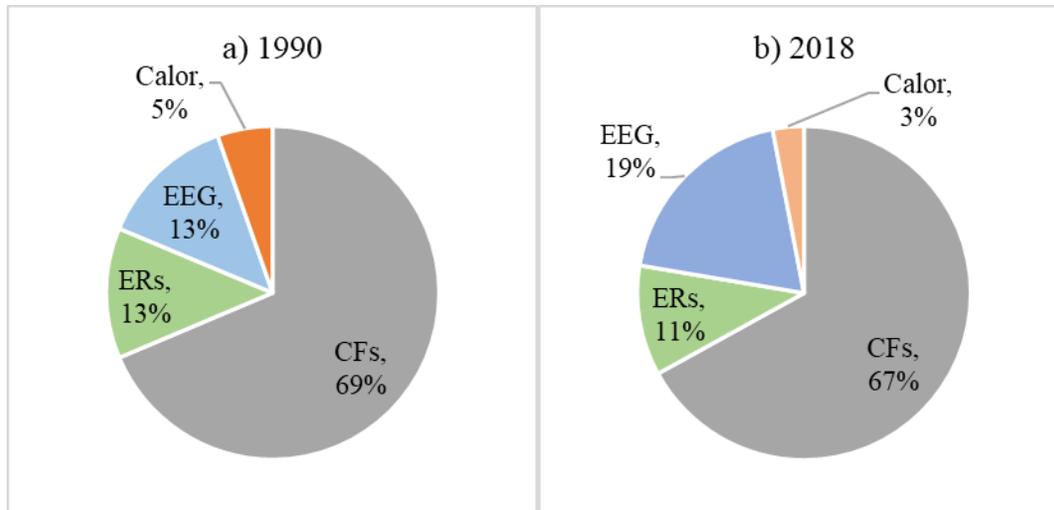


Figura 7. TFC por tipo de energía, años a) 1990 y b) 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

TFC por regiones y por tipo de energía

El uso de CFs para abastecer el TFC (TFC_{CFs}) predomina en todas las regiones analizadas (Figura 8), exceptuando África, en donde el TFC_{ERD} ya en 1990 alcanzaba más del 50%, en su mayoría proveniente de biomasa (Tabla 2).

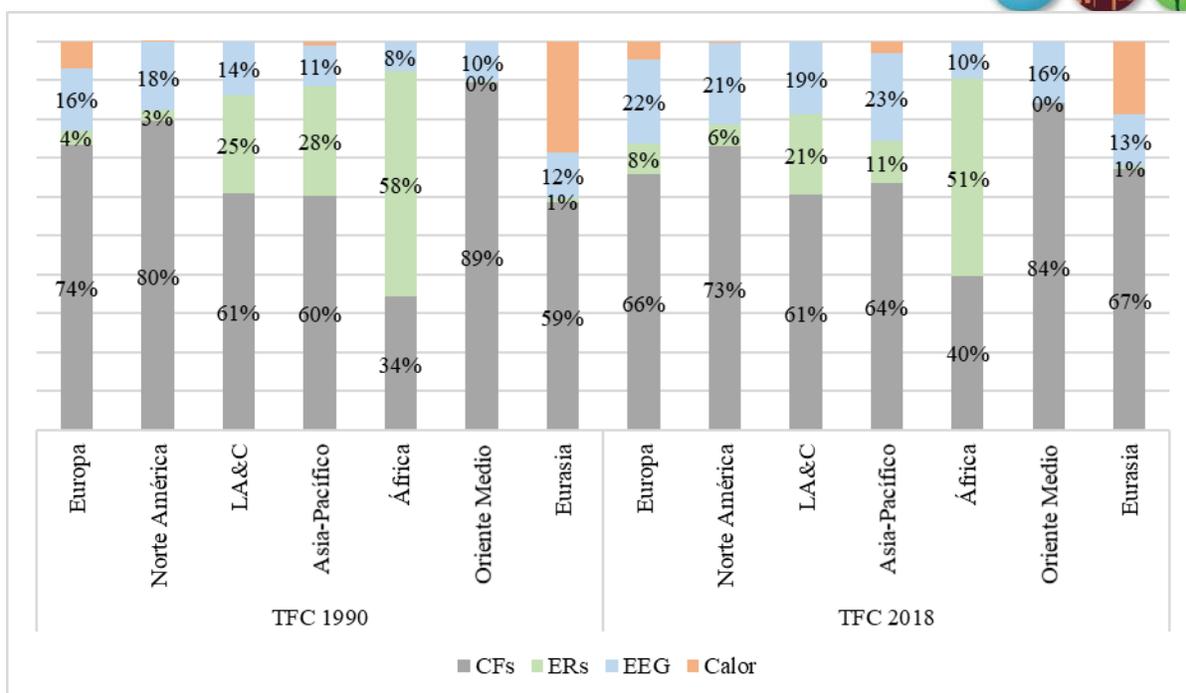


Figura 8. TFC por tipo y región, años 1990 y 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

En 1990, las regiones con mayor TFC_{ERD} después de África eran Asia-Pacífico y LA&C, con 28% y 25%, respectivamente. No obstante, para 2018 estos porcentajes se redujeron, principalmente en Asia-Pacífico, alcanzando un TFC_{ERD} de menos del 10%.

Tabla 2. TFC_{ERD}. Cálculos a partir de datos: IEA (2020a)

Región IEA	1990		2018	
	Biomasa	ERNC	Biomasa	ERNC
Europa	3.5%	0.1%	7.5%	0.5%
Norte América	2.7%	0.0%	5.4%	0.2%
LA&C	25.3%	0.0%	20.5%	0.2%
Asia-Pacífico	28.3%	0.1%	9.8%	0.9%
África	57.9%	0.0%	50.7%	0.0%
Oriente Medio	0.2%	0.0%	0.2%	0.1%
CIS (Eurasia)	1.1%	0.0%	0.7%	0.0%
Global	12.6%	0.1%	10.2%	0.5%

En promedio, el 20% restante del TFC corresponde a energía eléctrica generada (TFC_{EEG}) y calor (TFC_{calor}), con un máximo de 33.2% en Eurasia y un mínimo de 9.6% en África:

Tabla 3. TFC_{EEG} y TFC_{calor} , año 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

Región	TFC_{EEG}	TFC_{calor}	$TFC_{EEG} + TFC_{calor}$
Europa	21.6%	4.6%	26.2%
Norte América	21%	0.4%	21.4%
LA&C	18.6%	0%	18.6%
Asia -Pacífico	22.8%	2.9%	25.7%
África	9.6%	0%	9.6%
Oriente Medio	15.6%	0%	15.6%
Eurasia	13.3%	18.8%	33.2%

ERs en el TFC

Para conocer qué porcentaje del TFC proviene de cada grupo de ERs (TFC_{ERs}), es necesario calcular los porcentajes del TFC_{EEG} y del TFC_{calor} que provienen de estas fuentes de energía. Una representación gráfica de este cálculo es la siguiente:

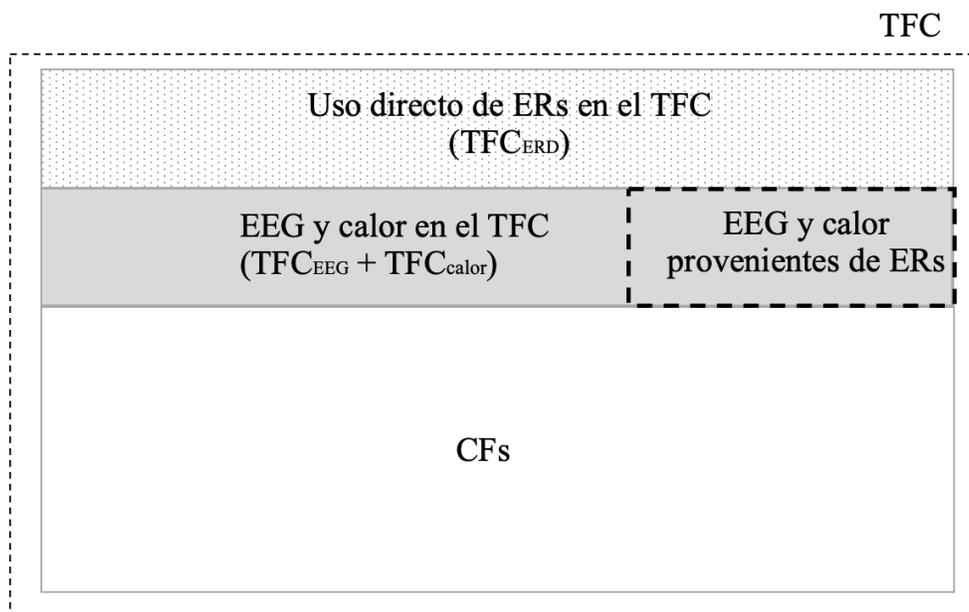


Figura 9. Cálculo del TFC_{ERs}

El cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$TFC_{ERS} = TFC_{ERD} + (EEG_{ERS} \times TFC_{EEG}) + (Calor_{ERS} \times TFC_{calor}) \quad \text{Ecuación (1)}$$

En donde (valores en porcentaje):

- TFC_{ERS}: TFC proveniente de ERs.
- TFC_{ERD}: TFC proveniente del uso directo de ERs.
- TFC_{EEG}: TFC abastecido con energía eléctrica.
- EEG_{ERS}: EE generada a partir de ERs
- TFC_{calor}: TFC abastecido con calor.
- Calor_{ERS}: calor generado a partir de ERs.

Con los valores TFC_{ERD} de la Tabla 2 para 2018, el TFC_{ERS} a partir de la Ecuación 1 es:

Tabla 4. TFC proveniente de ERs, año 2018. Cálculos a partir de datos: IEA (2020a)

Región IEA	EEG _{ERS} + Calor _{ERS}			TFC _{ERD} por tipo			Total TFC _{ERD}
	Biomasa	Hidro	ERNC	Biomasa	Hidro	ERNC	
Europa	2.3%	3.5%	3.0%	9.8%	3.5%	3.4%	16.8%
Norte América	0.4%	2.8%	1.7%	5.8%	2.8%	1.9%	10.6%
LA&C	1.0%	10.2%	1.2%	21.6%	10.2%	1.4%	33.2%
Asia-Pacífico	0.5%	3.3%	1.5%	10.3%	3.3%	2.4%	16.0%
África	0.0%	1.5%	0.3%	50.7%	1.5%	0.3%	52.6%
Oriente Medio	0.0%	0.3%	0.1%	0.2%	0.3%	0.1%	0.5%
CIS (Eurasia)	0.4%	2.4%	0.0%	1.1%	2.4%	0.0%	3.6%
Global	0.7%	3.1%	1.4%	10.9%	3.1%	1.9%	15.9%

De esta forma, las regiones con mayor TFC_{ERS} en 2018 fueron África y LA&C, con 52.6% y 33.2% respectivamente, en su mayoría provenientes de biomasa. El valor máximo de TFC_{ERNCS} se registró en Europa, con un 3.4% y la media global para estas fuentes de energías es de 1.9%.

Análisis por economías: TFC_{ERS}

En 2018, 30 economías pertenecientes a las regiones IEA registraron un TFC_{ERS} de 50% o más. En su mayoría, esta energía es obtenida a partir de biomasa, a excepción de Noruega e Islandia, en donde la mayoría de TFC_{ERS} es generada con energía hidráulica y/o geotérmica (Figura 10). Gabón, Etiopía y República Democrática del

Congo son las economías en donde el TFC_{ERs} supera el 90%, en su mayoría provenientes del uso tradicional de biomasa.

Islandia es la única economía en donde el TFC_{ERNCS} en 2018 superó el 10% en el año de referencia (Figura 11), con más del 40% del TFC generado con energía geotérmica, una forma de ER tradicional en ese territorio. Este porcentaje, sumado a un 34% del TFC obtenido con energía hidráulica permite a Islandia un TFC_{ERs} del 76%.

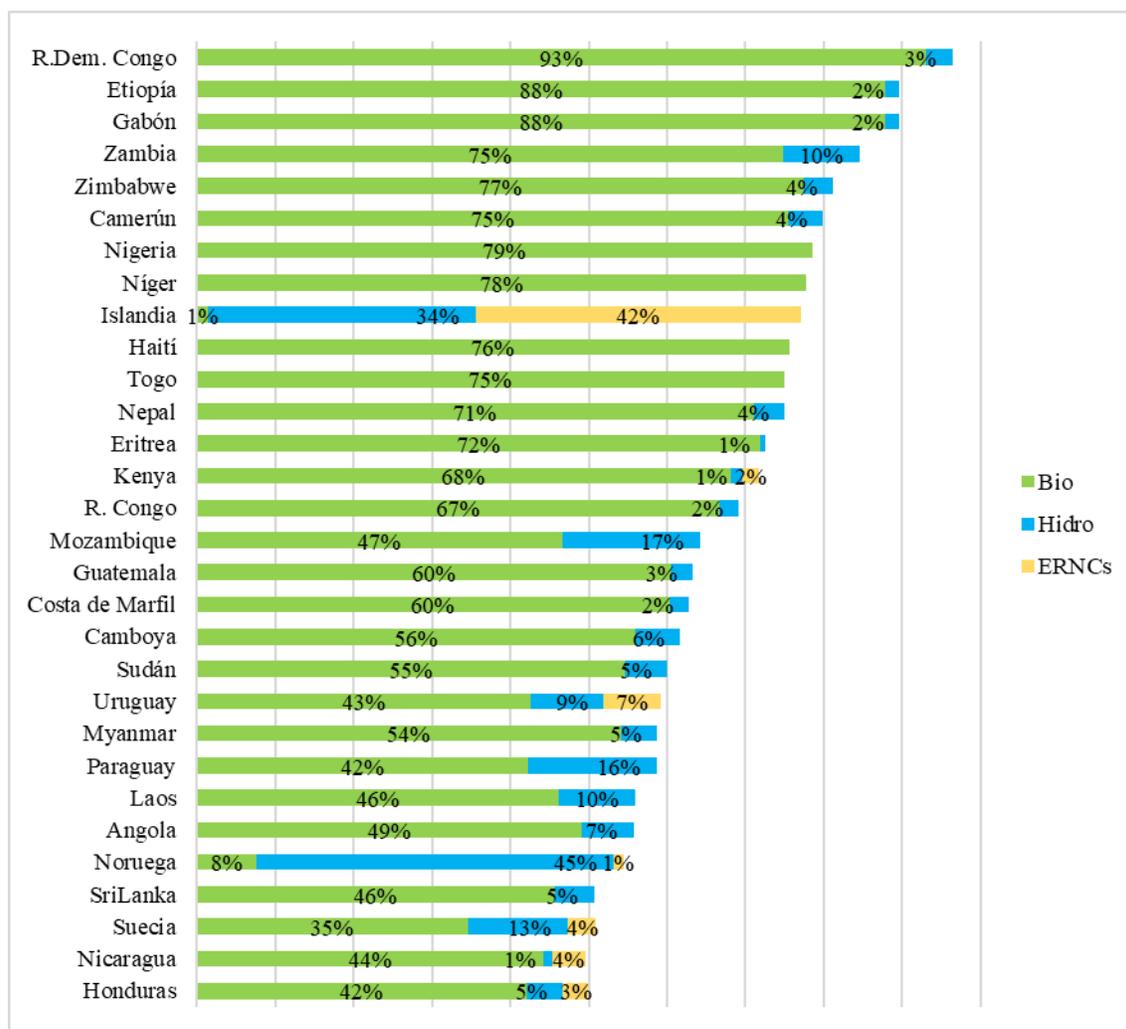


Figura 10. Economías con mayor TFC_{ERs} en 2018. Elaborado a partir de cálculos con datos IEA (2020a)

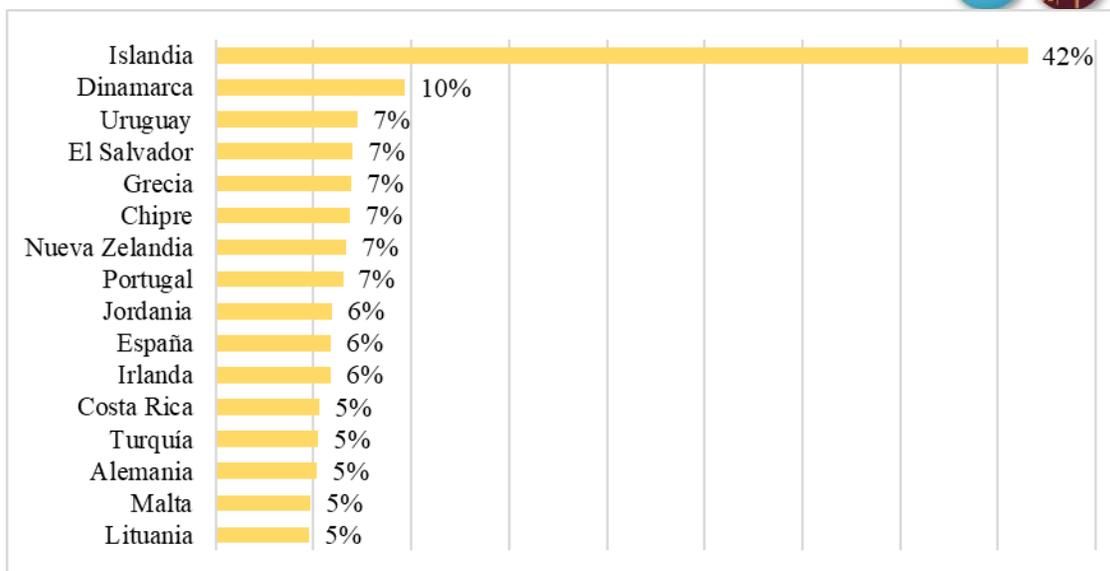


Figura 11. Economías con mayor TFC_{ERNCs} en 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

Economías con mayor generación y uso de ERNCs.

El TFC_{ERNCs} de cada economía se calculó con datos IEA para el año 2018, reemplazando el parámetro ERs por ERNCs en la Ecuación (1). En términos absolutos, en 2018 las economías con mayor cantidad TFC_{ERNCs} fueron China, EEUU, Alemania, India y Japón. Estas 5 economías suman el 70% del total de ERNCs generada y utilizadas en el TFC a nivel global. Sólo entre China y EEUU tienen 106 Mtoe de ERNCs en el TFC, equivalente al 55% del TFC_{ERNCs} global. Otras economías como Reino Unido, Turquía, España, Japón e Italia, obtuvieron un TFC_{ERNCs} del orden de 4.5 a 5 Mtoe en 2018.

Las economías que más generan ERNCs a nivel global logran un porcentaje máximo del 6% del TFC proveniente de ERNCs. España es la que alcanza el mayor porcentaje de TFC_{ERNCs}, con un 5.9%, seguido por Alemania y Turquía, con 5.2% cada uno.

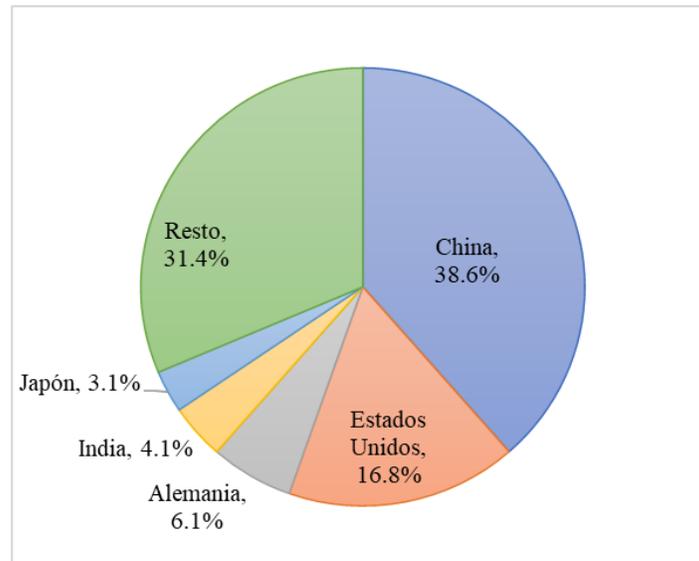


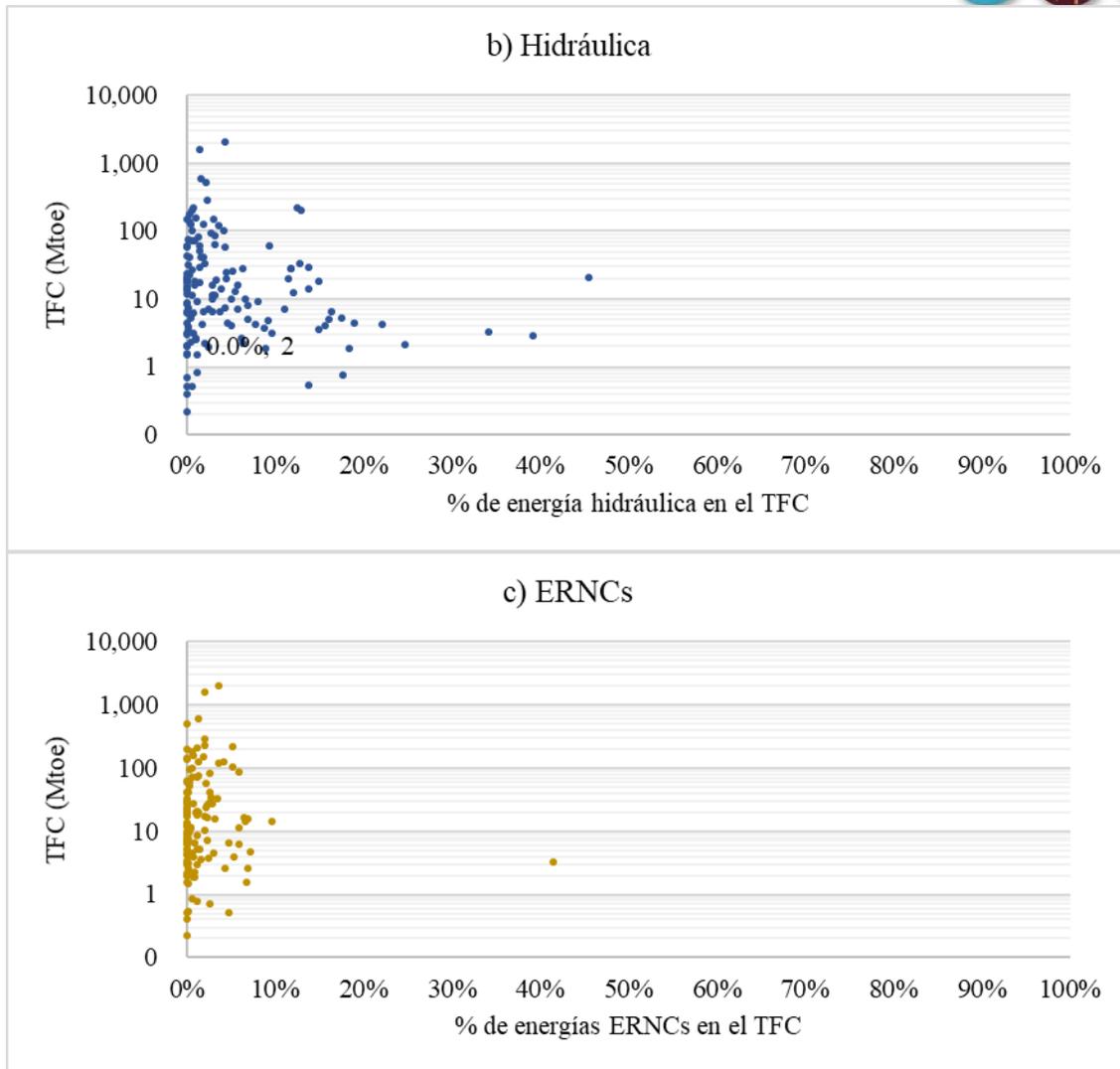
Figura 12. Porcentaje del total de ERNCs en el TFC global, por economía. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

TFC_{ERNCs} Vs. TFC total

El total de ERs en el TFC (en ktoe anuales), versus el porcentaje que los diferentes tipos de ERs representan en el TFC, para 143 economías de las bases de datos IEA, con información disponible, permite conocer si existe una relación entre la magnitud del TFC y el potencial de abastecer la demanda con diferentes tipos de ERs.

Como resultado, se encuentra que, en general, las economías logran un mayor TFC_{ERs} a menor escala. El TFC de Islandia (que es la economía que cuenta con el mayor TFC_{ERNCs}) es de 3 Mtoe para 2018, un TFC significativamente inferior al de las demás economías.

Las ERs de biomasa e hidráulica permiten mayores TFC_{ERs} a mayores escalas. Ejemplos de esto son India, que tiene un 26% proveniente de biomasa, con un TFC de 607 Mtoe; y Brasil, con un 13% proveniente de energía hidráulica, para un TFC de 225 Mtoe. Los resultados de este ejercicio se presentan en la Figura 13 a), b) y c).



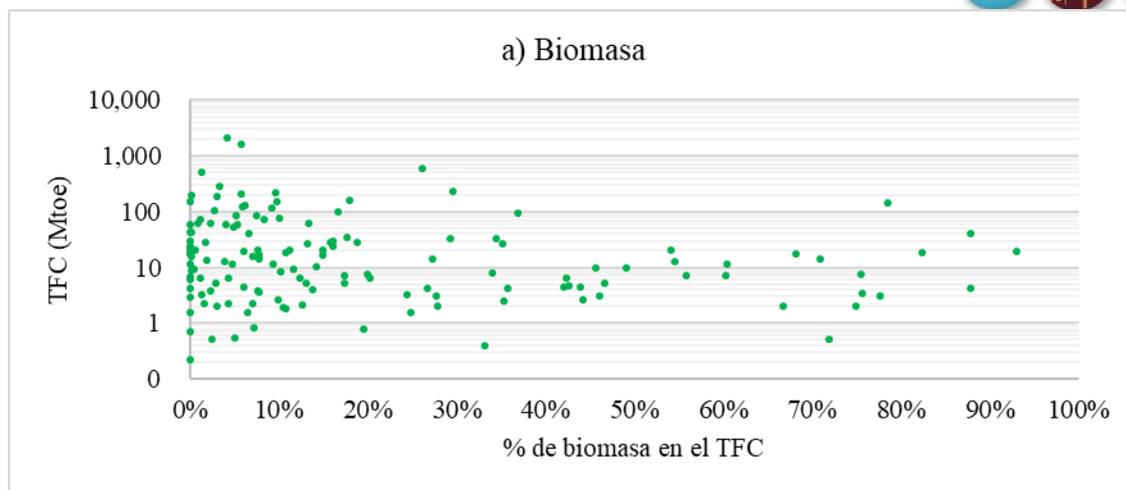


Figura 13. TFC por tipo de ER Vs. TFC total, para el año 2018 en 143 economías IEA. a) Biomasa. b) Hidráulica y c) ERNCs. Elaborado con cálculos a partir de: IEA (2020a)

Impacto ambiental de las ERs

El impacto ambiental derivado del uso masivo de diferentes formas de ERs y ERNCs debe ser considerado, para lo cual es necesario tener en cuenta, además de las emisiones directas de GEI (comúnmente asociadas a la quema de CFs) un enfoque que permita incorporar el análisis objetivo de impactos ambientales, a través de herramientas como la evaluación de impactos ambientales (EIA) y/o el análisis de ciclo de vida (ACV).

El uso de biomasa en países no pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) proviene principalmente de usos tradicionales de biomasa y no de bioenergía moderna. Esto significa que proviene del aprovechamiento local de biocombustibles, utilizando madera, cenizas y residuos industriales. El uso tradicional de biomasa se asocia a bajas eficiencias en los procesos de conversión y a impactos ambientales significativos en términos de deforestación y daños en la salud humana por contaminación en interiores, por lo que se espera que la cuota del TFC proveniente de estas formas de generación de energía se reduzca a futuro (Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo, y Banco Mundial, 2020).

En los países de África Subsahariana el uso tradicional de biomasa ha enfrentado numerosos obstáculos, que incluyen la falta de exigencia y de rigurosidad en los estudios de impacto ambiental que viabilizan los proyectos basados en estas tecnologías, altas tasas de deforestación y pérdida de fertilidad en suelos. Esto, sumado a la falta de agua para cultivos, agrava los riesgos relacionados con la seguridad alimentaria en la región, según Glantz y Wolde-Georgis (2010).

Los impactos ambientales asociados a la generación de energía hidráulica varían significativamente dependiendo de la escala y del tipo de proyecto. La IEA expidió 5 informes bajo el Acuerdo de Implementación de Tecnologías Hidroeléctricas (1996-2006), que son considerados referentes internacionales en materia de impacto ambiental de estos tipos de proyectos. Como resultado una década de estudios basados en más de 200 proyectos de generación de energía hidroeléctrica, se determinó que los impactos ambientales más significativos incluyen cambios en el régimen de estiaje, acumulación de sedimentos y deterioro de la calidad del agua en las fuentes hídricas, transformación de ecosistemas terrestres por la creación de embalses y pérdida de biodiversidad. Los impactos significativos sobre el medio socioeconómico incluyen desplazamientos poblacionales involuntarios, afectaciones adversas a poblaciones vulnerables y daños en la salud pública (Kumar, et al., 2011)

Diversos estudios han analizado las emisiones de GEI asociadas a los proyectos hidroeléctricos, específicamente aquellos que implican la construcción de embalses. Al igual que lo cuerpos lénticos de agua naturales, los embalses generan grandes cantidades de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y gas metano (CH₄, cuyo potencial de calentamiento global es 24 veces el del CO₂), por cuenta de la descomposición de materia orgánica en condiciones aerobias y anaerobias, Yang, et al. (2014). No obstante, las dinámicas ecosistémicas generadas en estos cuerpos de agua artificiales también implican grandes absorciones de GEI, que pueden incluso resultar en emisiones netas negativas; es decir, en donde las absorciones pueden llegar a ser mayores que las emisiones (Kumar, et al., 2011).

Las emisiones de GEI asociadas con energía hidráulica varían significativamente dependiendo del tipo de proyecto, el clima y la edad del reservorio (Yang, et al., 2014). Las emisiones asociadas a los embalses tienden a asemejarse a las de los cuerpos de agua naturales, dependiendo del tiempo de existencia del embalse. Un embalse de 10 años en áreas boreales y regiones semi-áridas pueden alcanzar los niveles de emisiones de un cuerpo léntico natural, mientras que en regiones tropicales pueden tomar más tiempo. Las emisiones de GEI asociadas a producción de energía hidroeléctrica pueden ser hasta 8% inferiores, comparadas con las asociadas a cualquier tipo de producción de energía térmica convencional (Tremblay, et al., 2004).

Para el caso de la energía solar fotovoltaica (PV) ha de considerarse el efecto acumulativo que ocasionará el auge de este tipo de proyectos, que requieren grandes extensiones de área para su emplazamiento. España, siendo la economía con el mayor TFC_{ERNCS} en 2018, tenía un TFC_{ERS} del 17%, y tiene como objetivo lograr que este valor alcance el 42% para 2030.

De acuerdo con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020), en 2018 la capacidad instalada de energía solar PV en España era de 4,7 GW (potencia AC). Se proyecta para el año 2030 la capacidad instalada de energía solar PV sea de 39,2GW, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, (2020a)., es decir más de 8 veces la capacidad instalada en 2018.

Tomando como referencia la relación capacidad instalada-área requerida y número de paneles de energía solar PV instalados en algunos mega-proyectos existentes en ese país (Ver Tabla 5), esto significa que sólo en España (cuyo TFC representa menos del 1% global) entre 2018 y 2030 se habrán instalado 34,4GW adicionales de energía solar PV. Esto podría demandar unas 69 mil hectáreas y nuevos paneles solares instalados del orden de 98 billones de unidades, tomando como referencia los 1.43 millones de paneles de la Planta Solar Núñez Balboa (Iberdrola, 2021).

Tabla 5. TFC proveniente de ERs, año 2018. Cálculos a partir de: IEA (2020a)

Proyecto	Capacidad instalada (MW)	Área total (ha)
Planta solar PV Núñez Balboa (Iberdrola, 2021)	500	1000
Planta solar PV Francisco Pizarro, en construcción. Iberdrola (2021a)	590	1300
Complejo solar PV Escatrón Grupocobra (2021)	350	1060

Si bien parte de estas instalaciones se desarrollan en entornos modificados (i.e. en entornos urbanos y/o sobre techos de edificaciones), la implantación de parques de energía solar PV extensivos en las regiones con mayor potencial instalada en España es marcada, considerando el bajo precio de las tierras y los altos rendimientos comparados con las actividades agrícolas (Espejo-Marín y Aparicio Guerrero, 2020). De acuerdo con Serrano, et al. (2020), la cantidad de hábitats y especies que podrían verse afectadas en ese país son invaluable. Es de considerar además los efectos ambientales relacionados con la extracción de materiales y disposición de residuos sólidos, asociados a estas tecnologías.

Discusión:

Entre los años 1990 y 2018, la composición del TES global no cambió sustancialmente, ya que más del 80% del TFC proviene de CFs y las ERs pasaron de representar el 13%

al 14% de este parámetro. En materia de TFC, las ERs representan casi el 16%, siendo la biomasa y la hidráulica los tipos de ER predominantes.

Tomando como base 117 de las 141 economías con información disponible en las bases de datos IEA, que representan el 93% de la población global (calculado con cifras de población total en Banco Mundial (2020)), el PIB total de estas economías tuvo un incremento del 117% (calculado con cifras de PIB ajustado por paridad de poder adquisitivo en USD constantes 2010, Banco Mundial (2020)). De esta forma, en términos de productividad, las economías de las regiones IEA pasaron de producir 8.4 a 13.3 miles de USD por toe del TFC, lo cual podría ser traducido en un incremento en la productividad del TFC del 58%.

El efecto del crecimiento poblacional y del desarrollo económico sobre la demanda energética es sinérgico, por lo que los esfuerzos deben ser direccionados no sólo hacia una migración a formas de ERs, sino también hacia una mayor eficiencia energética, si el objetivo es alcanzar un alto porcentaje del TES y TFC provenientes de ERs, de acuerdo con IRENA (2017), y Banco Mundial, WB, IFC y MIGA, (2016).

El crecimiento poblacional de las economías analizadas fue del 43%, que resultó en un incremento del TFC per cápita del 9% en las tres últimas décadas. El mayor incremento se presenta en la región Asia-Pacífico, en donde la población creció un 40%, el TES 171% y el TFC 143%, por lo que crecimiento económico ha tenido un importante efecto en el crecimiento de la demanda energética de la región.

En 1990, algunas regiones como África mostraban ya una importante composición del TFC_{ERs}. África pasó de tener el 58% de su TFC_{ERs} en 1990, al 51% en 2018 y contrario a la tendencia esperada con el desarrollo, los CFs ganaron terreno en esta región.

LA&C y Asia-Pacífico son otras regiones en donde las ERs pasaron de representar casi una tercera parte de su TFC, al 21% y 11%, respectivamente. En estas regiones los CFs también ganaron terreno en el TFC, contrario a lo esperado en el avance hacia un desarrollo sostenible.

En todas las regiones con un porcentaje alto de TFC_{ERs}, predominan las ERs generadas con biomasa y energía hidráulica. Las ERNCs representan un 2% del TFC a nivel global y muestran un bajo porcentaje de representación tanto en las economías con mayor generación de ERs, como en las economías con mayor porcentaje de TFC_{ERs}. Sólo en Islandia predominan las ERNCs en el TFC, en donde tradicionalmente se ha generado energía a partir de fuentes geotérmicas. En algunas economías de escala relativamente pequeñas (e.gr. Dinamarca y Uruguay, entre otros), las ERNCs alcanzan un 10% del TFC. En general, el alcance del TFC_{ERNCs} es bajo, aún en las economías con mayor generación de este tipo de energías.

Es importante notar que ERs no son sinónimo de ausencia de impactos ambientales, por lo que el impulso de diferentes formas de ERNCs debe considerar las implicaciones ambientales derivadas de las diferentes formas de generación de energía a través de un enfoque de EIA y ACV.

De otra parte, la relación TFC/TES se mantuvo relativamente estable en 70% en el período de estudio. La diferencia entre estos valores corresponde a las pérdidas generadas en los procesos de transformación, diferencias estadísticas y requerimientos del sistema. Una relación TFC/TES de 70% indica que por cada unidad del TFC se requiere producir 1.4 unidades de TES. Como consecuencia, el TES tuvo un incremento del 62% en el período analizado y el TFC un incremento del 59%, por lo que la eficiencia energética tiene un rol fundamental en la búsqueda de un menor costo ambiental del desarrollo y en el logro de una mayor participación de las ERs en las matrices energéticas, como lo plantean Montecinos y Carvajal (2018).

Conclusiones:

- La producción global de ERs casi se duplicó en las últimas tres décadas, pero la composición del TES global no cambió sustancialmente: en 2018, al igual que en 1990, más del 80% del TES global provenía de CFs.
- A nivel mundial, la proporción del TFC_{ERs} se mantuvo relativamente estable entre 1990 y 2018, con un incremento de 0,5 puntos porcentuales, alcanzando un 15.9%.
- Las ERNCs a nivel global pasaron de representar el 0.1% del TFC en 1990, al 1.9% en 2018.
- Con un crecimiento poblacional del 43%, un crecimiento económico del 117%, un incremento del 58% en la productividad del TFC y un aumento del 9% en el TFC per cápita, el crecimiento poblacional y económico tienen un efecto sinérgico en el incremento del TFC y, por lo tanto, del TES.
- Un número importante de economías, principalmente en la región IEA África tienen un TFC_{ERs} superior al 70%, proveniente en su mayoría de biomasa y/o energía hidráulica.
- La única economía con un TFC_{ERNCs} superior al 10% es Islandia, alcanzando un valor del 42%. En este país, la producción de energía geotérmica es tradicional.
- Algunas economías de pequeña escala han logrado un TFC_{ERNCs} cercano al 10% incluyendo Dinamarca, Uruguay, El Salvador, Chipre, Grecia, Nueva Zelandia y Portugal.
- En general, las economías con matrices energéticas de menor escala logran un mayor porcentaje de participación del TFC_{ERNCs} .
- Las ERs generadas a partir de biomasa y energía hidráulica tienen un mayor alcance en el TFC para matrices energéticas de mayor escala, en comparación con las ERNCs.

- Experiencias como la implementación de energía de biomasa en África, demuestran que las ERs conllevan retos ambientales y sociales que no se limitan a emisiones directas de CO₂, por lo que su implementación debe ser planificada de forma estratégica.
- Más allá del objetivo de reducir emisiones de CO₂ y, por lo tanto, de descarbonizar una economía, los impactos ambientales de las ERs asociados a la ocupación del suelo, cambios en los usos del suelo, alteraciones paisajísticas, pérdida de biodiversidad, extracción de materiales y generación de residuos sólidos, entre otros, deben ser seriamente considerados a través de enfoques de EIA y de ACV.
- La relación TFC/TES es del 70%, por lo que resulta indispensable que la migración hacia una matriz energética basada en ERs se realice buscando también incrementar la eficiencia energética de los sistemas.

Referencias bibliográficas:

- Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo., Banco Mundial. (2020). Tracking SDG 7. The energy progress report 2020. [En línea]. Disponible en: <https://trackingsdg7.esmap.org/downloads> (Último acceso: 3 de marzo de 2021)
- Banco Mundial. (2020). Base de datos del Banco Mundial. Obtenido de Base de datos del Banco Mundial. [En línea]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org> (Último acceso: 3 de marzo de 2021)
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), (2014). Pactos para la igualdad: hacia un futuro sostenible, Lima, CEPAL.
- Dincer, I. (2000). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. Science Direct, 4(2), pp. 157-175. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00011-8)
- Espejo-Marín, C., Aparicio-Guerrero, A. E. (2020). La Producción de Electricidad con Energía Solar Fotovoltaica en España en el S. XXI. Revista de Estudios Andaluces, 39, pp. 81-83. <https://dx.doi.org/10.12795/rea.2020.i39.04>
- Glantz, M., Wolde-Georgis, T. (2010). Biofuels in Africa: A pathway to development. International Research Center for Energy and Economic Development, 43. <http://ssrn.com/abstract=1589101>
- Grupocobra. (2021). Complejo Fotovoltaico Escatron. [En línea]. Disponible en: <https://www.grupocobra.com/proyecto/complejo-fotovoltaico-de-escatron/> (Último acceso 3 de marzo de 2021)
- Iberdrola. (2021). Planta Fotovoltaica Núñez Balboa. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/nunez-balboa-operativa-iberdrola-pone-marcha-mayor-planta-fotovoltaica-europa> (Último acceso 3 de marzo de 2021)
- Iberdrola. (2021a). Planta Fotovoltaica de Francisco Pizarro. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/conocenos/lineas-negocio/proyectos->

- emblemáticos/planta-fotovoltaica-francisco-pizarro (Último acceso: 3 de marzo de 2021)
- International Energy Agency (IEA). (2020). IEA Countries and regions. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/countries> (Último acceso: 3 de marzo de 2021)
- IEA., (2020a). Data and statistics. Data tables. Year: 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/world> (Último acceso: 3 de marzo de 2021)
- IEA., OCDE., EUROSTAT, (2005). Energy Statistics Manual. pp. 6. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/energy-statistics-manual> (Último acceso: 3 de marzo de 2021)
- International Renewable Energy Agency (IRENA), (2017). Synergies between renewable energy and energy efficiency, a working paper based on Remap., Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency (IRENA), pp- 11.
- Kumar, A. T., Schei, A., Ahenkorah, R., Caceres-Rodriguez, J. M., Devernay, M., Freitas, D., Hall, A., Killingtveit, Z., Liu, (2011). Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Chapter 5. Hydropower [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., von Stechow, C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp 562 a 468
- MapChart.net (2021). Herramienta para la creación de mapas temáticos. [En línea]. Disponible en: <https://mapchart.net> (Último acceso: 11 de marzo de 2021)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Informe estadístico de energías renovables. Potencia eléctrica acumulada a 2018 (kW). [En línea]. Disponible en: <http://informeestadistico.idae.es/t6.htm> (Último acceso: 3 de marzo de 2021)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020a). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030. [En línea]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/images/es/pniecCompleto_tcm30-508410.pdf (Último acceso: 3 de marzo de 2021)
- Montecinos, S., Carvajal, D., (2018). Energías renovables: escenario actual y perspectivas futuras. La Serena, Chile., pp. 13, 14, Editorial Universidad de la Serena.
- Moomaw, W., Yamba, F., Kamimoto, M., Maurice, L., Nyboer, J., Urama, K. T., Weir, T. (2011). Introduction. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Chapter 1. Renewable Energy and Climate Change. [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., von Stechow, C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp. 164, 170

- Organización Mundial de la Salud (OMS), (1991). Consejo Ejecutivo, 89ª reunión, Ginebra, 4 de diciembre de 1991. Comisión de salud y medio ambiente de la OMS. Informe del director general. EB89/23, OMS, pp. 5-6.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2020). OECD data. Primary Energy Supply. [En línea]. Disponible en: <https://data.oecd.org/energy/primary-energy-supply.htm> (último acceso: 3 de marzo de 2021)
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- Serrano, M., Margalida, A., Pérez-García J. M., Juste, J., Traba, J., Valera, F., Carrete, M., Aihartza, J., Real, J., Mañosa, S., Flaquer, C., Garin, I., Morales, M. B., Alcalde, J. T., Arroyo, B., Sánchez-Zapata J. A., Blanco, G., Negro, J. J., Tella J. L., Ibañez, J., Tellería, J. L., Hiraldo, F., Donázar, J. A. (2020). Renewables in Spain threaten biodiversity. *Science*, 370(6522), pp. 1282-1283. DOI: 10.1126/science.abf6509
- Tremblay, A., Varfalvy, L., Roehm, Ch., Gameau, M. (2004). The issue of greenhouse gases from hydroelectric reservoirs: from boreal to tropical regions. *Hydro-Québec Prod. Environ.* 1.
- World Bank (WB)., International Finance Corporation (IFC)., Multilateral Investment Guarantee Agency (MIGA). (2016). World Bank Group Climate Change Action Plan 2016–2020. World Bank, Washington DC, License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO, pp. 33.
- World Wildlife Fund (WWF). (2017). Las energías renovables: motor del desarrollo sostenible. [En línea] [consultado el 21 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.wwf.org.co/?298831/Propuesta-energias-renovables-2030>
- Yang, L., Lu, F., Zhou, X., Wang, X., Duan, X., Sun, B. (2014). Progress in the studies on the greenhouse gas emissions from reservoirs. *Acta Ecológica Sinica*, 34(4), pp. 204-212. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2013.05.011>

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS A TRAVÉS DEL AHORRO DE ENERGÍA”

“Ramón Merino Loo”¹ “Elkyn Orangel Perilla Sánchez”¹ “Aída Velázquez
Fonseca”^{1*}

Resumen

El mayor inconveniente para utilizar el sistema de “lodos activados” en el tratamiento de aguas residuales, es el alto costo asociado al consumo de energía necesaria para satisfacer la demanda de oxígeno requerida para lograr la oxidación de la materia orgánica, lo que de forma general representa más del 50% del consumo energético de una planta.

Presentamos el análisis de los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante la operación y mantenimiento realizado a la Planta SPA II ubicada en San Juan del Río Querétaro, México donde se ha optimizado este proceso reduciendo los costos de operación logrando la eficiencia requerida.

Debido a que el consumo de oxígeno del sistema es proporcional a las actividades de síntesis y a la utilización por parte de las células vivas de los residuos biodegradables descargados por las células muertas,

La tasa de crecimiento bacteriano también lo es y se vuelve independiente de dicha concentración.

Este es el fundamento para la optimización del consumo de energía ya que es posible mejorar de manera significativa la eficiencia del proceso reduciendo los tiempos de aireación lo que permite aumentar el aprovechamiento de la energía utilizada, “Alto Estrés”.

Se minimizan las rutas anabólicas y se fomentan las rutas de degradación de la materia orgánica y la obtención de energía de reserva además de reducir la producción de lodos, con el consecuente ahorro de energía.

Abstract

The biggest drawback to using the "activated sludge" system in wastewater treatment is the high cost associated with the energy consumption needed to meet the oxygen demand required to achieve the organic matter oxidation, which generally represents more than 50% of the energy consumption of a plant.

We present the analysis of the physicochemical parameters obtained during the operation and maintenance carried out at the SPA II Plant located in San Juan del Río Querétaro, Mexico where this process has been optimized reducing operating costs achieving the required efficiency.

Because oxygen consumption of the system is proportional to the synthesis activities, and the use by living cells of biodegradable waste discharged by dead cells,

The bacterial growth rate also is and becomes independent of that concentration.

This is the basis of energy consumption optimization, since it is possible to significantly improve the efficiency of the process by reducing aeration times which allows to increase the use of the energy used, "High Stress".

Anabolic routes are minimized and promotes degradation of organic matter obtaining and energy reserve in addition to reducing the production of sludges, with the consequent energy savings.

Key Words: Activated sludge, Cost, Energy saving, Optimization, Wastewater

Introducción

Es de sobra conocido el efecto negativo que se ocasiona a los seres humanos y a los ecosistemas cuando se descargan de forma directa las aguas residuales en los cuerpos de agua, limitando con esto su aprovechamiento, ya sea como agua para beber, como agua de riego agrícola, o restringiendo su uso en la industria.

Así pues, siendo el agua un elemento indispensable para la vida, el cuidado en su consumo y su posterior tratamiento se vuelven hoy en día, una actividad obligada haciendo del costo de tratamiento un tema de suma importancia.

Generalidades

En el tratamiento biológico de las aguas residuales participan distintas reacciones microbiológicas para eliminar o transformar los diferentes tipos de materia orgánica, nutrientes, y demás elementos que la componen. Estas reacciones pueden realizarse bajo diferentes condiciones: *aerobias* (presencia de oxígeno disuelto), *anóxicas* (ausencia de OD, presencia de nitratos) o *anaerobias* (ausencia de OD y nitratos).

El proceso de “Lodos Activados” consiste en reproducir de manera confinada y controlada los mecanismos con los que la naturaleza degrada la materia orgánica a través del suministro de oxígeno.

Su configuración básica consiste en un reactor donde se mantiene en suspensión un cultivo microbiano capaz de asimilar la materia orgánica presente en el agua residual al suministrar oxígeno, por lo que se requiere un sistema de aireación y agitación para evitar la sedimentación de los flóculos en el reactor, permitiendo así la homogenización de los lodos activados. Una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente “oxidada” el licor mezclado se envía a un tanque de sedimentación donde se separa el fango biológico del agua. Una parte de la biomasa decantada se recircula al reactor para mantener una concentración adecuada de microorganismos, mientras que el resto del fango se extrae del sistema para evitar acumulación excesiva de biomasa y controlar el tiempo medio de retención celular.

Para crecer y reproducirse los microorganismos necesitan:

- Energía para sustentar sus funciones metabólicas y
- Carbono y nutrientes (N, P, Ca, Mg, etc.) para generar nuevo material celular.

Todo esto lo obtienen de la materia contenida en el efluente, del medioambiente, o de aportes del sistema de tratamiento.

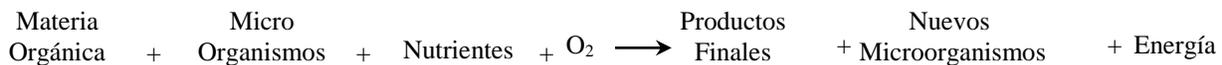
De forma general, existen tres tipos de microorganismos según sus condiciones de respiración:

- **Organismos Aeróbicos:** utilizan oxígeno disuelto para respirar. El Carbono orgánico es oxidado obteniéndose CO₂ y Agua:



- **Organismos Facultativos:** Utilizan oxígeno disuelto cuando éste se encuentra disponible, cuando no hay oxígeno disuelto utilizan el oxígeno ligado al nitrito (NO₂⁻) o Nitrato (NO₃⁻).
- **Organismos Anaeróbicos:** Utilizan reacciones endógenas generando CO₂ y CH₄.

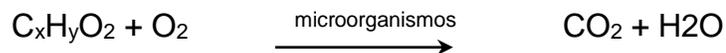
En un proceso de tratamiento aerobio, el metabolismo de los microorganismos presentes en el sistema puede expresarse de la siguiente manera:



De forma específica, durante la remoción o estabilización de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, se presentan tres fenómenos principales que consisten en:

- **Oxidación de Materia Orgánica**

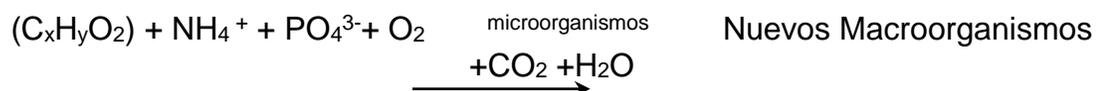
En esta etapa se utiliza el oxígeno disuelto en el agua para generar de las reacciones bioquímicas la energía necesaria para los procesos vivientes:



La materia orgánica se oxida para producir CO₂ y H₂O (respiración celular).
CATABOLISMO.

- **Síntesis de Masa Celular**

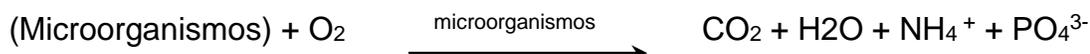
Se utiliza el oxígeno disuelto para generar la energía necesaria para la síntesis de nueva masa celular:



A partir de la materia orgánica y utilizando amonio y fosfato como fuentes de nitrógeno y fósforo se genera nuevo material celular (ruta anabólica)
ANABOLISMO

- **Oxidación de Masa Celular**

Finalmente, los microorganismos sufren una auto-oxidación progresiva de su masa celular



A este proceso se le conoce como “respiración endógena” en el que también los microorganismos muertos sirven de alimento a los otros microorganismos. Esta reacción tiene lugar cuando la materia orgánica disponible es limitante de tal forma que los microorganismos del sistema utilizan su propio protoplasma para obtener energía para su mantenimiento.

Cuando las concentraciones de materia orgánica son altas, aunque sean compuestos de naturaleza compleja, la tasa de crecimiento bacteriano también lo es y se vuelve independiente de dicha concentración. A medida que se realiza el suministro de oxígeno (periodo en que se efectúa la aireación), los microorganismos proceden a utilizar los compuestos orgánicos más fáciles de oxidar, para obtener la energía necesaria de forma rápida, hasta que solo quedan los compuestos más complejos y más difíciles de remover, por lo que la tasa de crecimiento bacteriano empieza a decrecer, a pesar de esto los microorganismos aún continúan creciendo a una tasa logarítmica debido a que tienen “reservas” almacenadas de materia orgánica por lo que continuarán creciendo hasta que se agote su reserva, (tiempo sin aireación), cuando esto sucede se presenta la disminución rápida de masa celular conjuntamente con un aumento en la concentración de nitrógeno (auto-oxidación).

El consumo de oxígeno del sistema es proporcional a las actividades de síntesis o conversión de materia orgánica en las células microbianas y la respiración endógena o utilización por parte de las células vivientes de los residuos biodegradables, descargados por las células muertas.

Es precisamente este concepto el que nos proporciona el fundamento para la optimización del consumo de energía ya que consideramos que es posible mejorar de manera significativa la eficiencia del proceso de tratamiento introduciendo pequeñas modificaciones en la operación de la Planta, reduciendo los tiempos de aireación que nos permitan aumentar el aprovechamiento de la energía utilizada, a este sistema lo llamamos “Alto Estrés”.

El fundamento teórico de este sistema se basa en el consumo de las reservas de energía que tienen los organismos presentes en el fango durante los periodos sin aireación donde se produce una reducción del oxígeno disuelto generando una fase de anoxia que causa un estrés en las bacterias ante esta limitante, pero que nos permite el ahorro de energía;

una vez que se introduce aire nuevamente al sistema, los microorganismos se encuentran con un medio rico en materia orgánica y comienzan su degradación.

La energía obtenida de las rutas catabólicas se emplea primeramente en crear nuevas reservas energéticas necesarias para iniciar la síntesis de nuevo material celular, las cuales habían sido agotadas en la fase de anoxia. Antes de que se inicien las rutas de biosíntesis, el licor mezclado es nuevamente sometido a otra fase de anoxia y las reservas son nuevamente consumidas sin haber sido empleadas en la construcción de nuevo material celular.

Como resultado de este sistema de operación de la planta, se minimizan las rutas anabólicas y se fomentan las rutas de degradación de la materia orgánica y la obtención de energía de reserva además de reducir la producción de lodos, con el consecuente ahorro de energía.

Material y Metodología

Con la finalidad de evitar la contaminación del Río San Juan y como parte del Programa Integral de Saneamiento de la Zona Conurbada de San Juan del Río, el segundo municipio más grande del estado de Querétaro, se construyó la Planta de tratamiento de aguas residuales “San Pedro Ahuacatlán II” (SPA II) con un caudal de diseño de 300 lps, y se encuentra en operación desde el 2010.

La configuración básica del tratamiento consiste en:

- Pretratamiento compuesto por:
 - Desbaste de gruesos
 - Cárcamo de bombeo

- Sistema de Tratamiento en dos trenes compuesto por:
 - Plantas compactas (Desbaste de finos, desarenado y desengrasado)
 - Reactores Biológicos (Aireación por difusores tubulares de burbuja fina, y agitación mezcladores de flujo horizontal)
 - Sedimentador Secundario
 - Desinfección UV
 - Digestor Aerobio
 - Filtro Prensa

DIAGRAMA DE FLUJO PTAR SPA II

Operación de la planta de tratamiento

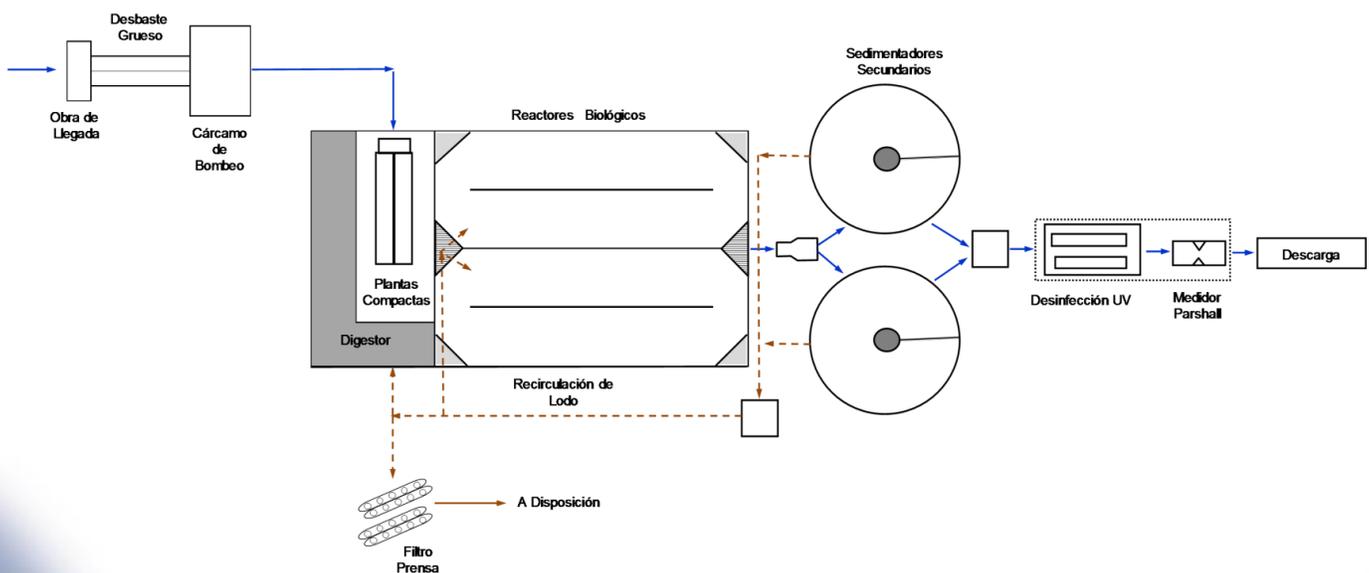
Para la óptima operación de una PTAR y la confiabilidad de las mediciones obtenidas para su estudio, se debe realizar el chequeo sistemático de las unidades de proceso y los equipos instalados, así como del monitoreo químico y biológico del proceso por lo que es necesario especificar una rutina de chequeo y calibración tanto de equipos como de toma de muestras y su periodicidad.

De forma general con el proceso de lodos activados, manejado de forma eficiente, se pueden obtener los siguientes porcentajes (%) de remoción.

Tabla 1. Eficiencia de remoción esperada

PARAMETRO	% EFICIENCIA DE REMOCION
DBO ₅	90 – 95
SST	85 - 95
NITROGENO TOTAL	15 -30
FOSFORO	10 - 25
COLIFORMES FECALES	60 -90

En este estudio se pretende reducir el costo sin bajar de la eficiencia de remoción presentada en la tabla anterior.



Se parte de la premisa de que los procesos preliminares como el desbaste y los sistemas de medición de parámetros ubicados en la PTAR se encuentran en buen estado; así pues, para la optimización de cualquier proceso es de suma importancia desarrollar una metodología que permita el buen funcionamiento de los equipos instalados por lo que el mantenimiento tanto preventivo como correctivo de los mismos es de vital importancia.

Dentro de las acciones realizadas para optimizar el funcionamiento de los reactores biológicos se dio especial cuidado a la limpieza de los sistemas de pretratamiento ya que esto ayuda a la eficiencia de las unidades de proceso posteriores afectando de forma indirecta el consumo total de oxígeno necesario para la depuración biológica.

Un mal desarenado puede afectar el buen funcionamiento de los procesos biológicos, pues aumenta la densidad del fango dificultando su separación de las paredes y del fondo de los reactores, así como de las conducciones y tuberías o provocando abrasión sobre los elementos mecánicos en movimiento.

De igual forma, un exceso de grasas puede obstruir rejillas y esto afecta de forma específica los procesos biológicos, sobre todo en un sistema de lodos activados dificultando la correcta aireación ya que disminuyen el coeficiente de transferencia además de favorecer la producción de “bulking”, afectando también los procesos de digestión de lodos.

Así pues, podemos considerar de manera general que una buena retención de Sólidos Suspendidos (SS) antes del tratamiento biológico puede reducir la DBO ya que parte de éstos están constituidos por materia orgánica.

Factores que afectan el proceso biológico:

Temperatura: Sabemos que un aumento en la temperatura incrementa la velocidad de reacción, aunque por otra parte también reduce la estabilidad de los microorganismos. La depuración biológica se desarrolla de forma adecuada entre los rangos de temperatura de 12°C – 38 °C (zona mesofílica).

El rango de temperatura reportado en el período de estudio en los análisis realizados por laboratorio certificado oscila entre 16°C – 28°C, lo cual se encuentra dentro de lo especificado por lo que no se aprecia gran influencia de este parámetro en nuestro análisis, sin embargo, al ser un factor importante se mantiene monitoreado de forma constante.

pH: Los microorganismos son activos alrededor de un pH determinado y que generalmente no es muy diferente de pH=7. Este parámetro se encuentra dentro del rango en las aguas a tratar.

Tanto la temperatura y el pH tienen un papel importante en la supervivencia y crecimiento de las bacterias, aunque éstas pueden sobrevivir en un rango amplio, el crecimiento óptimo se da en un intervalo muy restringido.

Edad de lodos: Se define como el tiempo que permanecen los lodos en el interior del sistema antes de ser purgados, controlando la edad de los lodos se controla la velocidad específica de crecimiento de la biomasa en el sistema.

Recirculación: Es necesario mantener una concentración suficiente de lodos en el sistema para alcanzar el grado de tratamiento requerido, además, es necesario evitar las pérdidas de sólidos con el efluente y mantener la profundidad de la capa de fango adecuada. Para ello es importante determinar el caudal óptimo de recirculación.

Cantidad de nutrientes: El N y P en cantidades adecuadas son necesarios para el correcto funcionamiento del sistema

Para la optimización de un sistema de lodos activados consideramos que se deben analizar los siguientes aspectos:

- Concentración de efluente (*DBO, SST*)
- Cantidad de biomasa en el reactor (*Recirculación*)
- Exceso de lodo generado (*Recirculación*)
- Cantidad de oxígeno utilizado (*Tiempo de aireación*)

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

La mayoría de las descargas de aguas residuales presentan fluctuaciones de flujo y de carga orgánica debido a la variación de consumo de agua en la población, lo que se solventa con el cárcamo de bombeo que permite regular estos parámetros.

En base a la experiencia de 16 años (2000 a 2016) en el diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento hemos encontrado que es posible ahorrar energía hasta en un 50 % optimizando la operación del reactor biológico mediante el suministro óptimo de aire aplicando de forma sistemática limpieza y mantenimiento de los equipos y del pretratamiento.

Experiencias prácticas:

En los últimos años se han aplicado de forma sistemática algunas acciones en la operación de varias plantas de tratamiento ubicadas en la ciudad de San Juan del río Querétaro, México, con el objetivo de reducir los costos de operación siendo la más representativa la planta de San Pedro Ahuacatlán II (SPA II), presentamos aquí los resultados obtenidos.

La calidad de agua residual generada por la ciudad de San Juan del Río que llega a la planta de SPA II se vio afectada en años anteriores por descargas clandestinas de las industrias de la región, por lo que una de las prioridades para lograr la disminución en el consumo de energía fue el homogeneizar el influente de entrada a la planta controlando las descargas no deseadas, esto se logró gracias al monitoreo y rastreo realizado por el personal operativo de la planta y el apoyo de las autoridades, minimizando así este problema.

A continuación, se presenta el histórico de algunos datos de entrada donde se aprecia claramente la diferencia en las concentraciones del agua de entrada a la planta:

Tabla 2. Parámetros promedio de entrada a la PTAR de SPA II

PARAMETROS PROMEDIO DE ENTRADA A LA PTAR SPA II						
PARAMETRO	UNIDADES	2010	2011	2012	2015	2016
DBO	mg/lt	662.7	576.7	724	1145.6	498.7
SST	mg/lt	208.1	257.9	375	2788.1	327.5
NT	mg/lt				42	36.8
PT	mg/lt				6.166	13.5

Siendo el consumo energético el rubro que representa el mayor porcentaje de participación en el costo y a su vez, el sistema de aireación el equipo que más consume energía, nos hemos enfocado a investigar y proponer diferentes formas de operación que nos permitan reducir los costos de operación a través de estudio práctico del tiempo de aireación.

Es importante destacar algunos comportamientos definidos durante el período de estudio:

El caudal más homogéneo se obtiene a primera hora de la mañana (6:00 am) siendo la carga orgánica más bien de un valor bajo, para ir aumentando de forma gradual tanto el flujo como la carga al pasar las horas, y a partir de las 12 y hasta las 19 Hrs se producen puntas de caudal influente con el respectivo aumento de la carga orgánica para estabilizarse nuevamente de las 19:00 hrs y hasta las primeras horas de la mañana donde el caudal influente disminuye y se mantiene homogéneo.

El tiempo de residencia hidráulico en el reactor biológico se mantuvo entre 8-11 horas, por encima de un sistema de lodos activos convencional, pero sin llegar a las condiciones de aireación prolongada.

La oxigenación se estableció en torno a 1.5 – 2.0 mg / lt.

Se procedió a realizar de forma sistemática y controlada la reducción en el tiempo de aireación y la medición de la carga contaminante tanto a la entrada como a la salida a través de los parámetros de DBO Y SST durante los años 2015- 2016. Se determinó la eficiencia de tratamiento, manteniendo la concentración de oxígeno disuelto dentro de los parámetros establecidos para luego analizar y comparar contra mediciones de años anteriores.

Resultados y discusión

Evolución histórica de los consumos de energía para la PTAR SPA II

La planta de SPA II está diseñada para 300 LPS promedio, iniciando operaciones en 2010 logrando hasta el pasado 2016 la mayor captación de aguas residuales urbanas para su tratamiento.

Tabla 3. Variabilidad en el caudal promedio de entrada PTAR SPA II

**VARIABILIDAD EN EL CAUDAL PROMEDIO DE ENTRADA
PTAR SPA II
LPS**

AÑO	2010	2011	2012	2015	2016
CAUDAL PROMEDIO	196.4	218.6	241.0	245.7	292.0
% DE INCREMENTO ANUAL		11.3	10.3	1.9	19.0
% DE INCREMENTO 2010-2016					48.7

En la siguiente gráfica se muestra el incremento en el caudal tratado en la planta SPA II durante los años 2015 y 20

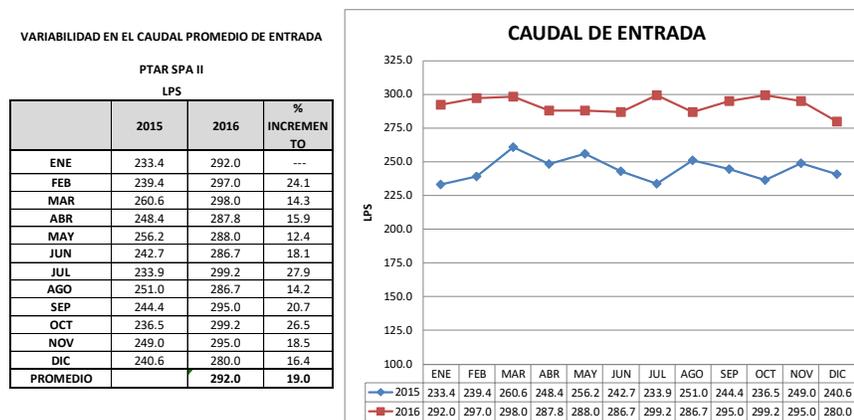


Figura 1. Incremento de caudal tratado en SPA II

Se buscó homogenizar los parámetros de entrada, controlando las descargas clandestinas al alcantarillado de las industrias de la región logrando en 2016 homogenizar la carga contaminante con respecto al 2015, regulando así los picos tan marcados de los meses de Enero, Abril, Mayo y Julio 2015.

Tabla 4. Características de las aguas de Ingreso

CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS DE INGRESO
DBO ENTRADA (mg/lit)

MES	2010	2011	2012	2015	2016
ENE		496.0	751.8	4,473.0	
FEB		601.9	822.3	735.5	313.9
MAR		436.0	524.6	540.5	474.6
ABR		687.0	723.4	1,057.0	472.6
MAY		733.0	823.4	1,247.3	334.5
JUN		535.8	780.4	453.0	694.5
JUL		559.1	642.3	3,148.3	488.7
AGO		538.4		354.9	407.2
SEP		571.1		278.0	656.5
OCT		534.8		608.4	748.9
NOV	600.5	620.2		460.3	652.6
DIC	724.9	607.4		390.9	242.1
PROMEDIO	662.7	576.7	724.0	1,145.6	498.7

Tiempo de aireación aplicado

Se modificaron los tiempos de aireación y se controló la cantidad de oxígeno disuelto en los reactores.

**TIEMPOS DE AIREACION
HR/DIA**

	2015	2016
ENE	19.2	21.1
FEB	20.0	17.4
MAR	18.8	20.4
ABR	19.3	17.4
MAY	19.4	17.0
JUN	19.0	13.4
JUL	18.5	13.5
AGO	20.1	14.3
SEP	19.6	15.8
OCT	20.0	13.9
NOV	21.6	11.2
DIC	21.2	11.1
PROMEDIO	19.7	15.5

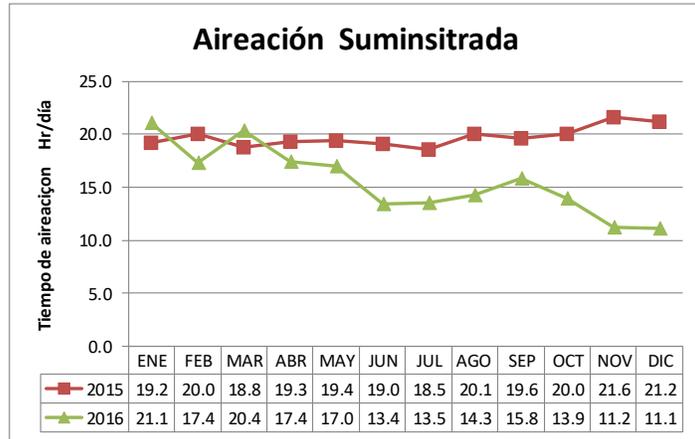


Figura 2. Tiempo de aireación aplicado

Los resultados de remoción obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 5. Caracterización de las aguas residuales en estudio (2015)

**CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS
DATOS OBTENIDOS**

MES	CAUDAL DE ENTRADA M3/MES	2015					
		DBO (mg/lit)			SST (mg/lit)		
		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION	ENTRADA	SALIDA	% REMOCION
ENE	625,078.0	4,473.0	25.6	99.4	4,600.0	19.0	99.6
FEB	579,066.0	735.5	23.8	96.8	440.0	6.0	98.6
MAR	698,053.0	540.5	21.8	96.0	470.0	10.0	97.9
ABR	643,890.0	1,057.0	25.8	97.6	10,020.0	13.0	99.9
MAY	686,178.0	1,247.3	20.2	98.4	1,670.0	10.0	99.4
JUN	629,191.0	453.0	12.9	97.2	680.0	10.0	98.5
JUL	626,423.0	3,148.3	20.6	99.3	13,540.0	20.0	99.9
AGO	672,347.0	354.9	26.5	92.5	242.9	8.0	96.7
SEP	633,550.0	278.0	21.4	92.3	344.0	14.0	95.9
OCT	633,463.0	608.4	20.3	96.7	838.0	18.0	97.9
NOV	645,289.0	460.3	19.5	95.8	237.1	14.0	94.1
DIC	644,435.0	390.9	12.4	96.8	375.0	8.0	97.9
PROMEDIO	643,080.3	1,145.6	20.9	96.6	2,788.1	12.5	98.0

Tabla 6. Caracterización de las aguas residuales en estudio (2016)

MES	CAUDAL DE ENTRADA M3/MES	2016					
		DBO (mg/lit)			SST (mg/lit)		
		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION	ENTRADA	SALIDA	% REMOCION
ENE							
FEB	744,163.2	313.9	14.8	95.3	613.3	16.6	97.3
MAR	798,163.2	474.6	13.8	97.1	350.0	10.2	97.1
ABR	746,064.0	472.6	10.4	97.8	380.0	12.5	96.7
MAY	771,379.2	334.5	11.7	96.5	268.0	9.4	96.5
JUN	743,040.0	694.5	15.3	97.8	300.0	9.6	96.8
JUL	801,288.0	488.7	16.6	96.6	168.0	7.1	95.8
AGO	767,808.0	407.2	19.5	95.2	260.0	7.5	97.1
SEP	764,640.0	656.5	18.7	97.2	466.0	15.3	96.7
OCT	801,288.0	748.9	10.7	98.6	394.0	5.6	98.6
NOV	764,640.0	652.6	10.7	98.4	296.0	4.9	98.4
DIC	749,952.0	242.1	12.1	95.0	106.7	3.2	97.0
PROMEDIO	768,402.3	498.7	14.0	96.9	327.5	9.3	97.1

Eficiencia de remoción **DBO**

Veámoslo de otra manera, en esta gráfica puede apreciarse mejor la disminución de la carga contaminante, los valores de la concentración de salida son menores en 2016 con respecto a 2015 aun cuando el valor numérico del % de remoción sea menor.

EFICIENCIA DE REMOCION DBO
% REMOCION

	2015	2016
ENE	99.4	
FEB	96.8	95.3
MAR	96.0	97.1
ABR	97.6	97.8
MAY	98.4	96.5
JUN	97.2	97.8
JUL	99.3	96.6
AGO	92.5	95.2
SEP	92.3	97.2
OCT	96.7	98.6
NOV	95.8	98.4
DIC	96.8	95.0
PROMEDIO	96.6	96.9

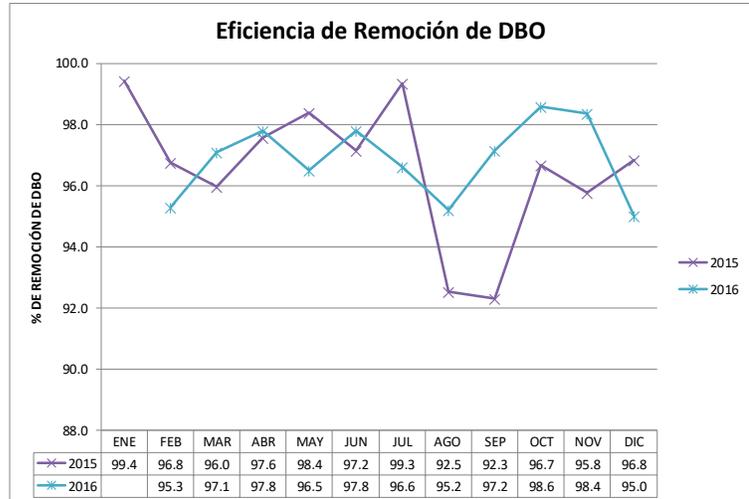


Figura 3. Porcentaje (%) de remoción de DBO

EFICIENCIA DE REMOCION DBO
DBO mg/lt

	2015	2016
ENE	25.6	
FEB	23.8	14.8
MAR	21.8	13.8
ABR	25.8	10.4
MAY	20.2	11.7
JUN	12.9	15.3
JUL	20.6	16.6
AGO	26.5	19.5
SEP	21.4	18.7
OCT	20.3	10.7
NOV	19.5	10.7
DIC	12.4	12.1
PROMEDIO	20.9	14.0

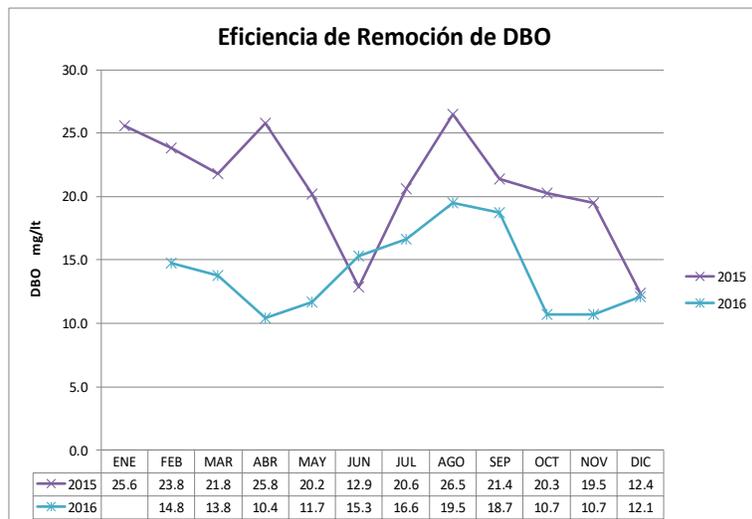


Figura 4. Concentración en mg/lt de DBO removido

Eficiencia de remoción SST

EFICIENCIA DE REMOCION SST
% REMOCION

	2015	2016
ENE	99.6	
FEB	98.6	97.3
MAR	97.9	97.1
ABR	99.9	96.7
MAY	99.4	96.5
JUN	98.5	96.8
JUL	99.9	95.8
AGO	96.7	97.1
SEP	95.9	96.7
OCT	97.9	98.6
NOV	94.1	98.4
DIC	97.9	97.0
PROMEDIO	98.0	97.1

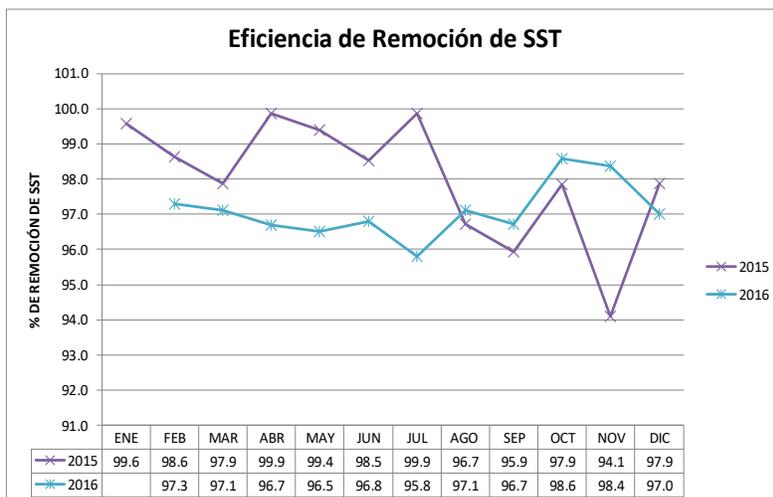


Figura 5. Porcentaje (%) de remoción de SST

EFICIENCIA DE REMOCION SST
SST mg/lit

	2015	2016
ENE	19.0	
FEB	6.0	16.6
MAR	10.0	10.2
ABR	13.0	12.5
MAY	10.0	9.4
JUN	10.0	9.6
JUL	20.0	7.1
AGO	8.0	7.5
SEP	14.0	15.3
OCT	18.0	5.6
NOV	14.0	4.9
DIC	8.0	3.2
PROMEDIO	12.5	9.3

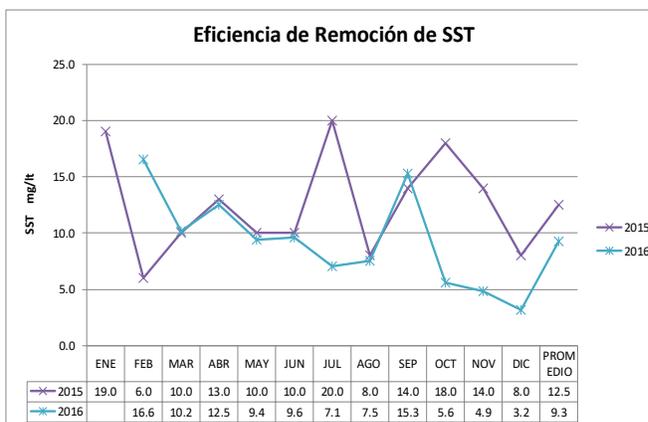


Figura 6. Concentración en mg/lit de SST removido

Consumo de energía por lt de agua tratada

Figura 7. Consumo de Energía por Lt de agua tratada

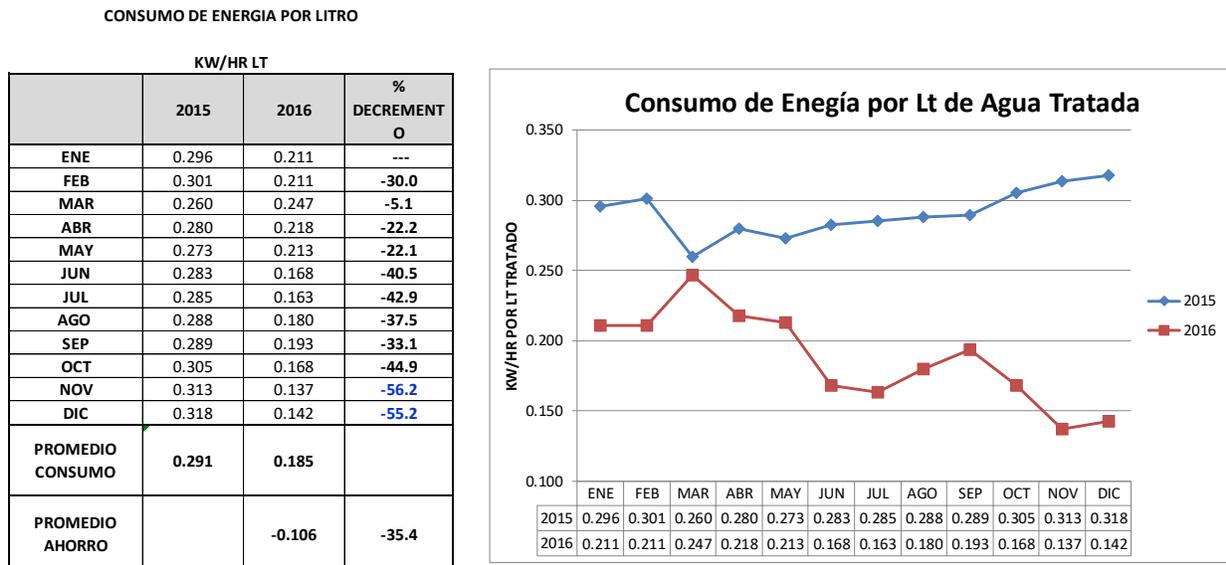
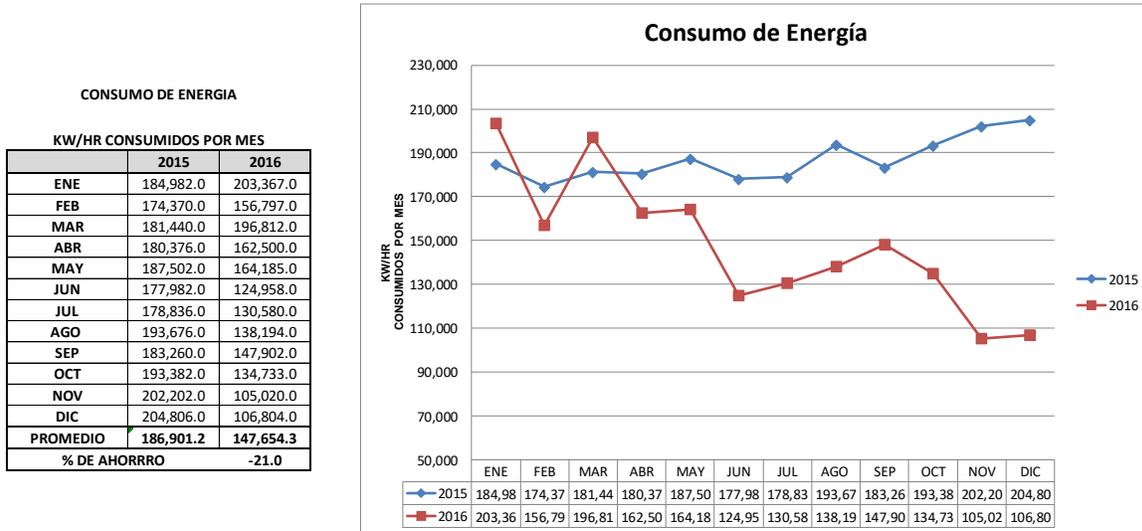


Figura 8. Consumo de Energía en KW/hr Lt

En esta tabla se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 7. Reducción de parámetros y consumo de energía

	2010	2011	2012	2015	2016	DIFERENCIA 2016 VS 2015
M3 TRATADOS / MES	519,930.0	574,504.7	631,167.6	643,080.3	768,402.3	125,322.0
% REMOCION DBO	97.6	95.8	96.1	96.6	96.9	0.34
DBO EFLUENTE mg/lit				20.9	14.0	-6.90
% REMOCION SST	95.1	91.1	93.7	98.0	97.1	-0.92
SST EFLUENTE mg/lit				12.5	9.3	-3.20
TIEMPO DE AIREACION (HR)			19.0	19.7	15.5	-4.2
CONSUMO DE ENERGIA KW/HR POR LT				0.291	0.185	-0.106

Conclusiones

Sin duda, el factor que más influye sobre el proceso de tratamiento de aguas residuales, es su composición, sin embargo conociendo verdaderamente el origen y variabilidad de las aguas que se reciben en la planta es posible realizar medidas preventivas para homogeneizar la carga contaminante antes de entrar a proceso y contrarrestar los picos que puedan presentarse, así como definir los parámetros de operación logrando una mayor estabilidad en el proceso con altas eficiencias de remoción de materia orgánica.

Su operación es altamente flexible, sobre todo en la aceptación de cargas orgánicas variables.

Para obtener los rangos de remoción deseados se debe considerar que esto no depende sólo de las características de diseño del proceso, sino también de una serie de factores que inciden sobre el “trabajo” de los microorganismos como la concentración de oxígeno disuelto y la cantidad de nutrientes disponibles, la temperatura y el pH, así como de las propiedades intrínsecas del agua residual afluente.

Para lograr una alta eficiencia en el tratamiento debemos monitorear los parámetros del agua de llegada, así como controlar las variaciones de flujo, razón por la que una estructura de amortiguamiento ayuda a lograr la homogenización del flujo y de la carga.

La temperatura afecta directamente el nivel de actividad de las bacterias en el sistema, recomendamos como rango 25 a 32 °C.

Para compensar la variación de la actividad biológica a diferentes temperaturas, debe ajustarse la concentración de sólidos suspendidos del licor mezclado.

En climas extremos en el verano la actividad bacteriana aumenta y disminuye el oxígeno disuelto en el agua, ambos fenómenos pueden dar como resultado una mayor demanda de oxígeno. Durante el invierno, las temperaturas bajan y ocurren los fenómenos inversos, disminuyendo la demanda de oxígeno. Sin embargo, se puede asumir que una masa mayor de microorganismos con tasas de oxidación menores durante los períodos de temperaturas bajas realiza la misma remoción de materia orgánica que una masa aeróbica menor, pero con tasas de oxidación mayores durante los períodos de temperaturas altas.

La determinación de los requerimientos de oxígeno y su control es fundamental en la operación de una planta de tratamiento por lodos activados. Si los microorganismos son privados del suministro de oxígeno en cantidad y forma adecuada, se provoca el aprovechamiento de otras fuentes sin que esto implique una menor capacidad de tratamiento.

El desarrollo rutinario de mediciones adecuadas nos permitirá junto a las otras experiencias de seguimiento y control operacional, la obtención de información valiosa a utilizar por el operador para optimizar y controlar el uso de los sistemas de aireación repercutiendo sobremanera en los costos operativos y en la identificación de problemas operacionales.

El equipo de medición debe incluir instrumental de alta confiabilidad, el cual debe ser calibrado previamente al desarrollo de las experiencias para asegurar la calidad de sus resultados.

Todas las experiencias que se presentan en planta durante la operación diaria otorgan importante información para identificar en forma temprana problemas potenciales debido a la presencia de elementos tóxicos en las aguas residuales y/o problemas de operación.

Se estima que en un proceso “común” de lodos activados el consumo de energía se encuentra entre 0.25 -0.45 kWhr/m³ donde el consumo de aireación ocupa entre el 50-70%

En México, según datos oficiales, los niveles de cobertura de tratamiento de aguas residuales alcanzan el 29 % solamente. Esto significa que el impacto energético de estas plantas irá en aumento a medida que la cobertura se amplíe y significará un factor adicional de presión sobre el sector energético de nuestro país para abastecer el crecimiento de la demanda.

Los controles automáticos y sistemas de velocidad variable pueden ayudar a minimizar el tiempo de operación del equipo.

Referencias Bibliográficas

- Aragón Cruz, Carlos A. (2009) abril, "Optimización del proceso de lodos activados para reducir la generación de fangos residuales", Universidad de Cádiz, Facultad de ciencias del mar y ambientales, Departamento de tecnología del medio ambiente.
- Hernández Muñoz, Aurelio, Hernández Lehmann, Aurelio, Galán Martínez Pedro (1994) 3ª edición, Sistemas de depuración de aguas residuales, Colegio de ingenieros de caminos canales y puertos.
- Nolasco, Daniel A. (2010) "Nota técnica No. 116, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales, Referencias internas, Marcos von Sperling. Basic Principles of Biological Wastewater Treatment, IWA Publishing.

El chicle “no es como lo pintan”: determinación del potencial contaminante de las gomas de mascar sobre los cuerpos hídricos

Valentina ALDANA ROA^{2*}, Juliana ÁLVAREZ SÁENZ.², Valentina MONCALEANO F.², Alexandra SALINAS C.², Rommel A. BONILLA C.², William LOZANO-RIVAS¹

¹Facultad de Ciencias Ambientales. Grupo de Investigación en Ambiente y Sostenibilidad – GUIAS. Universidad Piloto de Colombia.

²Semillero en Gestión y Tecnologías del Agua – GTA. Programa de Administración Ambiental. Universidad Piloto de Colombia.

*Autor correspondiente: Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Piloto de Colombia. Calle 45 A # 9-77. Sede E. Piso 3. Bogotá D.C. CP 110231. Colombia. Email: valentina-aldana1@upc.edu.co; william-lozano@unipiloto.edu.co

Abstract

Investigaciones alrededor del mundo han demostrado que cada chicle adherido a las superficies urbanas representa un foco de infección ya que puede albergar entre 50 mil y 70 mil bacterias provenientes tanto de la boca del consumidor como de hongos y otros patógenos presentes en el ambiente, los cuales son llevados al aire respirable por acción del viento. Además del riesgo a la salud, la limpieza de estas masas mascadas conlleva a asumir elevados costos para las administraciones municipales. Esta investigación demuestra por primera vez que los chicles tienen también el potencial de aportar altos niveles de contaminación fisicoquímica en razón a las trazas de alcoholes de azúcares (p.e. sorbitol, xilitol, maltitol manitol), saborizantes y otras sustancias que al ser diluidas por lavado, durante los eventos de lluvia, aportan grandes cantidades de carga contaminante a las aguas de escorrentía que, posteriormente, son llevadas por las redes pluviales a los ecosistemas hídricos superficiales de las ciudades. Durante la primera semana de lluvias, cada chicle adherido a las superficies urbanas es capaz de aportar cerca de 10 veces más DQO que las aguas residuales domésticas (3362 mg/L por chicle), además de hacer aportes significativos en color y conductividad. De esta manera, se demuestra el potencial contaminante de los chicles adheridos a las superficies urbanas sobre los ecosistemas hídricos y se hace un llamado para mejorar los hábitos de consumo y disposición.

KeyWords: agua, carga contaminante, ciudades, goma de mascar, recurso hídrico.

Introducción

Las gomas de mascar son un legado de la cultura maya, hace más de dos mil años, la cual empleaba una goma natural, extraída del corte de la corteza del árbol de chicozapote (*Manilkara zapota*), para limpiar sus dentaduras. Es así como la palabra 'chicle' viene de la palabra 'zictli' en náhuatl y 'sicté' en maya. A finales del siglo XIX el expresidente mexicano Antonio López de Santa Anna le sugiere al científico Thomas Adams usar esta resina natural como caucho para la fabricación de juguetes y llantas. Sin embargo, Adams tenía una mejor idea y le agregó azúcar a la goma, la dividió en cuadros pequeños y la comercializó con el nombre de *chiclets* bajo la marca *Adams New York Gum*. En los años cuarenta del siglo XX, durante la segunda guerra mundial, a los soldados se les proporcionaba chicle como un elemento para reducir el estrés y controlar la ansiedad. Una vez popularizado, la demanda sobrepasó la producción y la industria se vio obligada a sustituir la resina natural por el hoy empleado polímero acetato de polivinilo (Instituto Politécnico Nacional, 2018). Este milenar legado es hoy un grave problema estético y ambiental en todas las ciudades del mundo, en las que se encuentran pegotes de chicles en andenes, vías, plazas, sistemas de transporte y mobiliario urbano, entre otros, con la capacidad de albergar, cada uno, hasta 70,000 bacterias y hongos (Secretaría de Salud del Distrito Federal, 2012) y con un costo de limpieza de 0.1 dólares la pieza. Esto ha llevado a ciudades como Singapur a prohibir la importación, fabricación y venta de chicles, mientras que en Calgary (Canadá), Quito (Ecuador) y en toda Italia, se han impuesto ejemplares multas a quienes arrojen gomas de mascar mascadas al suelo (El Comercio, 2017). Ciudad de México también decidió llevar adelante una iniciativa para reducir el problema y desde el año 2009 empezó a instalar contenedores para estos residuos que serán usados para fabricar *pellets* que serán convertidos en botes de basura, bajo el auspicio de empresas como Trident, Mondelez y Terracycle (CNN Español, 2018). En Bogotá más de 1,000 chicles son retirados de los pisos y estructuras del sistema de transporte Transmilenio (El Espectador, 2018), mientras que en el 2013, en la Plaza de Bolívar, un grupo de niños de los colegios distritales tuvieron la labor de retirar cerca de 50,000 chicles adheridos al piso, con un costo de 800 dólares (Caracol Radio, 2013). Aunque en el mundo se consumen cerca de 560 mil toneladas de chicle que tardan, al menos, unos 5 años en empezar a degradarse de manera notable, y que se ha reconocido que su disposición sobre las superficies urbanas es un problema de salud aunado al impacto ambiental de los productos usados para su limpieza (p.e. detergentes, gasolina), los autores no encontraron en la literatura ningún estudio que haya evaluado el potencial contaminante de estas gomas de mascar sobre el agua y los ecosistemas hídricos. El 66% del peso de cada chicle está representado en los alcoholes de azúcares (p.e. sorbitol, xilitol, maltitol manitol). Estos azúcares, al ser hidratos de carbono, aportan grandes cantidades de DQO y DBO (Nahyoon, Liu, Saleem, Nahyoon, & Rabé, 2019), capaces de disminuir drásticamente el contenido de oxígeno del agua (Ramadan, Abd-Alla, & Abdul-Raouf, 2020; Qureshi, Mahessar, Leghari, Lashari, & Mari, 2015). Así, durante un evento de lluvia, estos compuestos orgánicos son diluidos y transportados por las aguas de escorrentía hacia las redes de alcantarillado pluvial que vierten sin tratamiento a ríos, humedales y otros ecosistemas hídricos, los cuales pueden terminar

siendo afectados por estos pequeños residuos aparentemente inofensivos. Esta investigación, busca demostrar, a diferencia de lo que se piensa, que los chicles no son un elemento inocuo sino que podrían tener un potencial contaminante que no es despreciable.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo durante los años 2019 y 2020 mediante el montaje de tres módulos experimentales en los que se usaron tejas de fibrocemento, cada una de 2 m² de área, las cuales simulaban una superficie urbana. Se dejó una de estas superficies sin chicles a manera de blanco o control (BCO), otra con cincuenta (50) chicles poco mascados (E1) y la última con cincuenta (50) chicles mascados (E2). Los tres módulos quedaron expuestos a la intemperie y el lavado directo de la lluvia, la cual fue recogida en bidones de agua para su posterior análisis en laboratorio durante seis (6) semanas.

Etapas preliminar

La definición de 'poco mascados' y 'mascados' se hizo empleando chicles de dos marcas comerciales muy conocidas. Cada uno de los autores de esta investigación probó de manera independiente cada una de las gomas de mascar y midió el tiempo antes de que perdieran la sensación de sabor. El tiempo promedio hallado para pérdida aparente de sabor de ambas marcas fue de 1395 segundos. Este tiempo se constituyó en el tiempo de mascado para los chicles del módulo de 'chicles mascados' o E2 y se determinó un tercio de este tiempo, es decir 465 segundos, para el módulo de 'poco mascados' o E1. Cada chicle mascado y poco mascado se ubicó sobre la teja, en los respectivos módulos, hasta completar 50 en cada uno.

Análisis de laboratorio

Se tomó una muestra semanal del agua lluvia proveniente de cada módulo experimental y se analizaron los parámetros de pH, conductividad, turbiedad, color y demanda química de oxígeno, registrando la altura de lluvia para el mismo periodo de tiempo. En el Laboratorio de Química y Análisis Ambiental de la Universidad Piloto de Colombia se analizó cada muestra haciendo todos los ensayos por triplicado. Los instrumentos de medición se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Variables de análisis e instrumentos empleados.

Variable y unidades	Instrumento de Medición	Precisión
Temperatura (°C)	Conductímetro SevenEasy METTLER TOLEDO	+/- 0.1 °C
pH (unidades)	pH Benchtop Thermo Scientific ORION 2 STAR	+/- 0.01 unidades
Conductividad (mS/cm)	Conductímetro SevenEasy METTLER TOLEDO	+/- 0.01 mS/cm

Turbiedad (UNT)	Turbidímetro HF Scientific Micro TPW	+/- 0.01 UNT
Color (UPC)	Fotómetro Hanna HI83099	+/- 1 UPC
DQO (mg/L)	Fotómetro Hanna HI83099 (Método EPA 410.4 - Adaptado). Termorreactor ECO 8. VELP SCIENTIFICA	+/- 22 mg/L

Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizó el *software* StatGraphics CENTURION 18, aplicando pruebas de independencia y análisis de varianza, empleando un nivel de significancia del 95% ($\alpha=.05$).

Resultados y discusión

pH y temperatura

Las variaciones de pH pueden ser explicadas por los valores mismos del agua lluvia la cual osciló entre los 7.32 y 10.38 unidades (**Figura 1**). A pesar de que en la primera semana se observa que los chicles, tanto poco mascados (E1) como mascados (E2) parecen incrementar los valores de pH, el análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, ni entre grupos y control ($F=.04$; $p=.963$). Todos los ensayos se hicieron a temperaturas que oscilaron entre los 17.2 y 19.2 °C ($M=18.4$ °C; $SD=.90$).

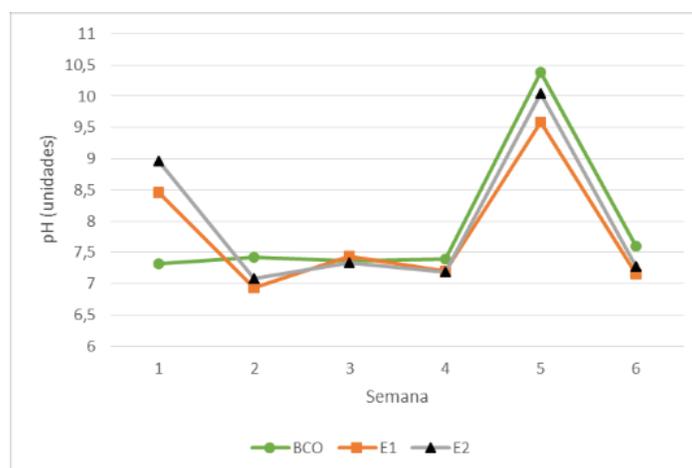


Figura 1. Comportamiento del pH para cada módulo experimental

Conductividad

Los valores más altos de conductividad para E1 y E2 se obtuvieron en la semana 3 (**Figura 2**). No se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, ni entre grupos y control ($F=.70$; $p=.514$). No obstante, sí se presentaron

diferencias entre los valores registrados por semana ($X^2=840.88$; $gl=10$; $p<.001$). Estas variaciones se explican con la cantidad acumulada de lluvia durante la semana en la medida en que a mayor precipitación se presenta un mayor lavado, dilución y transferencia de los alcoholes de azúcares a las aguas de escorrentía, como lo demuestra el análisis de correlación lluvia acumulada y E1 ($r=.869$; $p<.05$), así como el de lluvia acumulada y E2 ($r=.934$; $p<.01$).

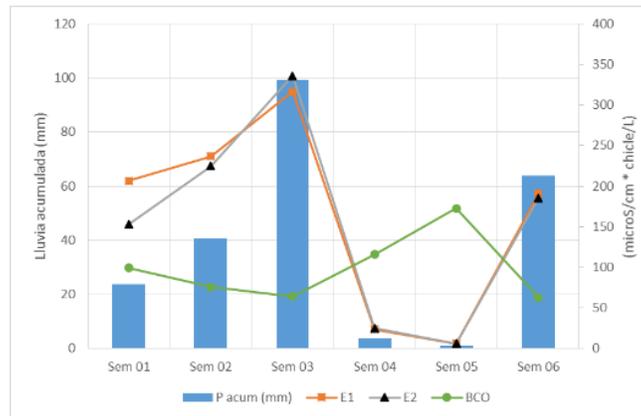


Figura 2. Comportamiento de la conductividad para cada módulo experimental

Turbiedad

En cuanto a turbiedad, durante la primera semana se obtuvieron altos valores para E1 (más de 4 veces superiores al valor de control o BCO), así como ligeros incrementos en las semanas dos y tres (**Figura 3**). No obstante, en el análisis de las seis semanas no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, ni entre grupos y control ($F=1.47$; $p=.260$).

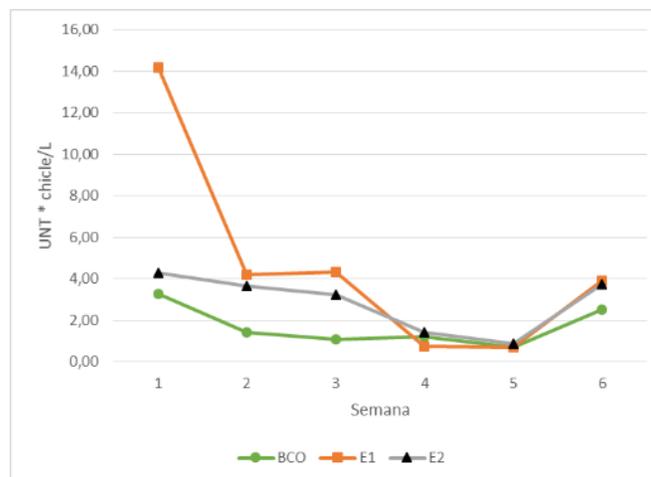


Figura 3. Comportamiento de la turbiedad para cada módulo experimental

Color

En cuanto a color, las variaciones fueron congruentes entre los grupos, y entre los grupos y el control (**Figura 4**). Es así como se presentaron diferencias estadísticamente significativas para los valores registrados por semana ($X^2=89.54$; $gl=10$; $p<.001$). Se observó, al igual que para los otros parámetros de análisis, valores superiores notables en las tres primeras semanas tanto para E1 (chicles poco mascados) y menos notorios para E2 (chicles mascados). Esto responde a la presencia de sustancias colorantes en algunas de las gomas de mascar usadas, cada una capaz de aportar hasta 135 UPC (E1) y 87 UPC (E2) por litro de aguas de escorrentía, durante los primeros eventos de lluvia.

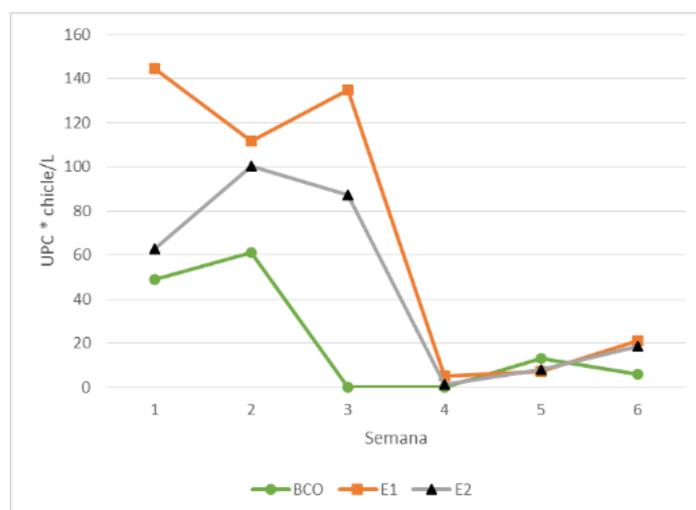


Figura 4. Comportamiento del color para cada módulo experimental

Demanda química de oxígeno

Este es el parámetro que más interés exhibe en razón al aporte de materia orgánica degradable capaz de reducir los niveles de oxígeno disuelto en las fuentes hídricas y afectar los ecosistemas. La primera semana de lluvias, cada chicle poco mascado (E1) fue capaz de aportar 3362 mg/L de DQO, mientras que los mascados (E2) produjeron 462 mg/L. Estos aportes siguieron siendo significativos hasta la tercera semana de lluvia, correspondiente a 163.5 mm de precipitación (**Tabla 2**).

Tabla 2. Variaciones de DQO para cada módulo experimental

Semana	Precipitación (mm)	Precipit. acumulada (mm)	DQO (mg/L)		
			BCO	E1	E2
1	23,8	23,8	<5	3362	462
2	40,5	64,3	<5	599	199
3	99,2	163,5	<5	123	24
4	3,8	167,3	<5	1	0
5	1,1	168,4	<5	2	1
6	63,9	232,3	<5	3	0

Es así como durante las tres primeras semanas se presentaron diferencias notables y estadísticamente significativas entre los grupos analizados, y entre grupos y control ($X^2=1582.22$; $gl=10$; $p<.001$).

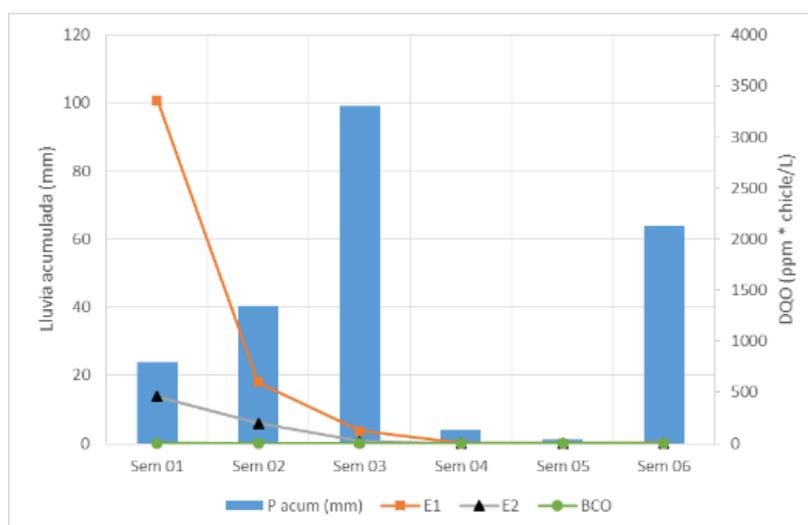


Figura 5. Comportamiento de la DQO para cada módulo experimental

Conclusiones

Los chicles o gomas de mascar que se arrojan a las superficies urbanas no son, de ninguna manera, un elemento inocuo. Este desecho tiene la capacidad de aportar, durante los eventos de lluvia, altas cargas contaminantes a las aguas de escorrentía que lavan las superficies, descargan a las redes de alcantarillado pluvial y, finalmente, llegan a ríos, humedales y otros ecosistemas hídricos. Aunque los chicles no tienen efecto sobre el pH, la conductividad o la turbiedad, cada goma de mascar recién adherida a una superficie urbana es capaz de aportar a un litro de agua hasta 135 UPC de color (si el chicle tiene color) y 3362 mg/L de DQO. Estos efectos pueden extenderse de manera

decreciente hasta que precipiten unos 164 mm de lluvia. Para entender mejor este efecto, si los 50,000 chicles que fueron despegados del suelo de la Plaza de Bolívar en Bogotá fueran chicles mascados o poco mascados, aportarían a los primeros 24 mm de aguas de escorrentía unos 23 kg o 168 kg de DQO, respectivamente. Este último valor equivale a la misma contaminación que generarían unos 1,400 habitantes con sus aguas residuales. Estos valores no son nada despreciables y se constituyen en suficiente soporte técnico para el acuerdo del Concejo de Bogotá que busca sancionar a las personas que arrojen chicles mascados en el espacio público.

Referencias bibliográficas

- Caracol Radio. (12 de Noviembre de 2013). *En la Plaza de Bolívar hay pegados más de 50.000 chicles*. Obtenido de Actualidad Caracol Radio:
https://caracol.com.co/radio/2013/11/12/bogota/1384260360_013817.html
- CNN Español. (15 de Agosto de 2018). *México lanza programa para reciclar el chicle, un problema en las aceras de la capital*. Obtenido de CNN México:
<https://cnnespanol.cnn.com/2018/08/15/mexico-lanza-programa-para-reciclar-el-chicle-un-problema-en-las-aceras-de-la-capital/>
- El Comercio. (02 de Septiembre de 2017). *Los países y ciudades que sancionan a quienes arrojan goma de mascar en las calles*. Obtenido de Mundo. El Comercio:
<https://elcomercio.pe/mundo/paises-ciudades-sancionan-quienes-arrojan-goma-mascar-calles-noticia-455178-noticia/>
- El Espectador. (9 de Octubre de 2018). *Cada día, más de 1.000 chicles son despegados de pisos y estructuras de Transmilenio*. Obtenido de Redacción Bogotá: <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/cada-dia-mas-de-1000-chicles-son-despegados-de-pisos-y-estructuras-de-transmilenio-articulo-816967>
- Instituto Politécnico Nacional. (2018). *Chicle. herencia maya. XXV Semana Nacional de Ciencia y Tecnología de Ciudad de México*. Ciudad de México.
- Nahyoon, N. A., Liu, L., Saleem, W., Nahyoon, S. A., & Rabé, K. (2019). Efficient photocatalytic treatment of sugar mill wastewater with 2% Ag₃PO₄/Fe/GTiP nanocomposite. *Arabian Journal of Chemistry*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2019.12.004>
- Qureshi, A., Mahessar, A., Leghari, M.-U.-H., Lashari, B., & Mari, F. (2015). Impact of releasing wastewater of sugar industries into drainage system of LBOD, Sindh, Pakistan. *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(5), 381-386.
- Ramadan, M. A., Abd-Alla, M. H., & Abdul-Raouf, U. M. (2020). Bioelectricity generation from agro-industrial waste water using dual-chambered microbial fuel cell. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 6(1), 103-109.
- Secretaría de Salud del Distrito Federal. (2012). *Informe del Laboratorio de Análisis de Riesgos*. Ciudad de México.

Análisis del sistema de monitoreo meteorológico para el manejo de los parques nacionales naturales ubicados en el departamento de La Guajira

María Alejandra Lozano Useche¹, Víctor Leonardo López Jiménez^{2*}

1* Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria –Facultad de Ingeniería. Universidad de La Salle. Bogotá D.C., Colombia

Email: mariaalozano77@unisalle.edu.co

2. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria –Facultad de Ingeniería. Universidad de La Salle. Bogotá D.C., Colombia

Email: vlopez@unisalle.edu.co

Abstract

Meteorological monitoring is an important activity in the management of Protected Areas, since knowing the climatic regime of the area allows greater accuracy in making decisions aimed at favoring conservation objectives. Therefore, the objective of this project was to technically evaluate the way in which the monitoring of the behavior of meteorological variables is carried out by the National Natural Parks of Colombia in the PNN Serranía de La Macuira, Sierra Nevada de Santa Marta, Bahía Portete-Kaurre and SFF Los flamencos, identifying the origin of the problems in the operation of the meteorological stations and the failures in the registration of data, proposing alternatives that lead to a better operation of these observation points. The project was carried out in four stages: Exploratory, the meteorological information available in the study area was compiled and managed. Information analysis, in which the information available in the PNNC and IDEAM databases was verified and analyzed. Climate characterization of the study area, determining the spatial-temporal behavior of the basic meteorological parameters. Analysis of the meteorological network operating in the department, the proposal for the distribution of the stations operated by PNNC and the management of meteorological information was elaborated, the data collected were analyzed, taking into account the criteria and methodologies defined by the World Meteorological Organization

- WMO for the conformation of a minimum functional network, which meets the needs of the entity.

KeyWords: climate, conservation and management, meteorological monitoring, natural park.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO PARA EL MANEJO DE LOS PARQUES NACIONALES NATURALES UBICADOS EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

Resumen

El monitoreo meteorológico es una actividad importante en el manejo de las Áreas Protegidas, ya que conocer el régimen climático de la zona permite mayor acierto en la toma de decisiones encaminadas al favorecimiento de los objetivos de conservación. Por lo anterior, este proyecto tuvo como objetivo evaluar técnicamente la manera como se lleva a cabo el seguimiento al comportamiento de las variables meteorológicas realizado por Parques Nacionales Naturales de Colombia en los PNN Serranía de La Macuira, Sierra Nevada de Santa Marta, Bahía Portete-Kaurrele y SFF Los flamencos, identificando el origen de los problemas de funcionamiento de las estaciones meteorológicas y las fallas en el registro de los datos, planteando alternativas que conduzcan a una mejor operación de estos puntos de observación. El proyecto se llevó a cabo en cuatro etapas: Exploratoria, se compiló y manejó la información meteorológica disponible en el área de estudio. Análisis de la información, en la que se verificó y analizó la información disponible en las bases de datos de PNNC y el IDEAM. Caracterización climática del área de estudio, determinando el comportamiento espacio temporal de los parámetros meteorológicos básicos. Análisis de la red meteorológica que opera en el departamento, se elabora la propuesta para la distribución de las estaciones operadas por PNNC y el manejo de la información meteorológica, se analizaron los datos recolectados, teniendo en cuenta los criterios y metodologías definidos por la Organización Meteorológica Mundial – OMM para la conformación de una red mínima funcional, que atienda las necesidades de la entidad.

Palabras clave: Clima, conservación y gestión, monitoreo meteorológico, parque natural.

Introducción

El departamento de La Guajira se encuentra ubicado al norte del país bajo la influencia de la corriente del Caribe y vientos del noreste, los cuales transportan aire húmedo desde el océano y alimentan la formación de nubes orográficas a barlovento de la Sierra Nevada. La escasa precipitación a sotavento del complejo orográfico y en la mayoría del departamento, da como resultado la limitada disponibilidad del recurso hídrico en la mayor parte de la península, generando riesgo de desabastecimiento del recurso y de afectación a la población entre la que se encuentran grupos étnicos como el pueblo Wayuu, los Koguis, Arzarios y Arhuacos.

El departamento muestra una alta variabilidad espacial y temporal de sus recursos hídricos, debido a sus particulares condiciones climáticas, geológicas y morfológicas. Las lluvias son la principal entrada al balance hídrico de las cuencas hidrográficas, las cuales varían desde menos de 300 mm/año en algunas zonas de la Alta Guajira hasta más de 2.000 mm/año en la parte alta de las cuencas críticas (Ríos Tapias, Carraipía y Ranchería); estas condiciones permiten pensar en el riesgo que a largo plazo presenta la Sierra Nevada de Santa Marta, al igual que la Serranía del Macuira, que son la fuente de abastecimiento de muchas comunidades indígenas (Corpoguajira, 2015). La ubicación y las demás características inherentes al territorio, hacen al departamento cada vez más vulnerable a los impactos generados por la variabilidad y el cambio climático que trae consigo consecuencias como la disminución acelerada del glaciar, las prolongadas sequías y aumento del nivel del mar.

En La Guajira se sitúan 4 parques nacionales naturales: PNN Serranía de La Macuira, Santuario de Flora y Fauna Los Flamencos, PNN Sierra Nevada de Santa Marta y PNN Bahía Portete-Kaurrele; estos parques se han visto afectados por extensas sequías, asociadas a la variabilidad climática, que al sumarse con las presiones antrópicas ponen en riesgo el cumplimiento de sus objetivos de conservación, la permanencia de ecosistemas y especies, los servicios ecosistémicos y el patrimonio cultural asociado a los pueblos indígenas que allí habitan (Corpoguajira, 2018).

En 2018, conscientes de la necesidad de información meteorológica que permitiera el monitoreo de las condiciones climáticas en las áreas protegidas se instalaron 5 estaciones compactas (automáticas) para la medición de variables meteorológicas, cuatro en el PNN Serranía de La Macuira dos en el sector oriental a 400 msnm (Chuwaapa'a y Pali'isiwo'u) y dos en el sector occidental por debajo de los 100 msnm (Jalein y Akumerapü) y una en el SFF Los Flamencos llamada La Pitilla; sin embargo, dos años después se identifican daños en algunos instrumentos, fallas en la transmisión de datos, debilidades en el registro de la información; por todo esto, la base de datos no está siendo confiable para llevar a cabo el monitoreo de las condiciones climáticas en los parques y así poder planificar y tomar decisiones que permitan prevenir, mitigar y reparar los impactos de orden socio-natural sobre estas áreas naturales requiriendo un análisis encaminado al diagnóstico y a propuestas de mejora.

Por las razones expuestas se consideró importante adelantar un proyecto encaminado al diseño de la red meteorológica, para el análisis de las condiciones climáticas que acompañan los Parques Nacionales Naturales en La Guajira ya que con el mejoramiento de la información suministrada por la red será posible mejorar la gestión encaminada al manejo y conservación de los parques nacionales naturales del departamento.

Material y metodología

Se procesó y organizó toda la información recolectada de las estaciones meteorológicas instaladas por PNNC en el departamento, con los datos se realizó el diagnóstico teniendo en cuenta las directrices de la OMM, estas fueron: Parámetros que se monitorean, continuidad de las series, cumplimiento de las especificaciones de emplazamiento, estado físico de las estructuras y sensores, funcionamiento de los programas y sistemas, metadatos disponibles y fecha del mantenimiento.

Para tener una primera aproximación de la operación de la red y de la calidad de la información que esta genera, se revisó y calificó la información disponible considerando básicamente: la extensión y continuidad de la serie; calidad de los datos de acuerdo con la confiabilidad que se puede tener en estos y la hora de observación que incide directamente en la representatividad del dato, teniendo en cuenta los registros, los informes entregados por el grupo de trabajo de cada AP y los registros de las estaciones cercanas operadas por el IDEAM. La calidad y operación de las estaciones fue calificada teniendo como referencia los criterios definidos en López 2014 (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios de Calificación

Variable que calificar	Calificación		
Calidad Serie de datos			
Faltan menos del 10% de los datos	1		
Falta entre el 10 y 30% de los datos	2		
Falta más del 30% de los datos	3		
Calidad de los datos			
Datos confiables	1		
Datos faltantes	2		
Datos dudosos	3		
Datos no confiables e incompletos	4		
Hora de observación			
Menos de 30 min antes. o después	1		
Más de 30 min antes o después.	2		
Probabilidad de 1 sola observación diaria	3		
		Total, calificación	
		Buena operación	0 a 3
		Regular operación	4 a 7
		Mala operación	8 a 10

La elaboración de la propuesta se realizó, teniendo en cuenta que la zona de estudio requiere una red meteorológica de calidad, con series de datos confiables y consistentes, se tomó como base la red operada por el IDEAM. Adicionalmente, con el fin de analizar su funcionamiento, se tuvieron en cuenta las estaciones instaladas por PNNC. En la elaboración de la propuesta para la distribución de las estaciones que operan en las áreas de los parques, se consideraron las metodologías expuestas por Gandín y Kagan; al final se seleccionó el método de la red mínima funcional, recomendado por la OMM y ajustado por López V.

Red mínima funcional

Se considera una red mínima funcional, aquella cuya capacidad físico-técnica permite medir y registrar de manera consistente y continua las variaciones que presentan las distintas variables meteorológicas, así como la ocurrencia de fenómenos atmosféricos en un área determinada.

Una red básica debiera suministrar, entonces, un nivel de información suficiente para ser aplicada en estudios sobre el comportamiento del clima en un lugar cualquiera dentro de la región en que opera la red. Para poder conseguir esto deben abarcarse por lo menos tres criterios:

- Disponer de un sistema para la transferencia de información desde los lugares donde se recogen los datos hasta el centro de manejo o cualquier otro lugar en el área.
- Existir un medio para estimar (determinar) la cantidad de información tomada de las estaciones para evitar la incertidumbre
- Disponer del mayor número de datos posible (series consistentes) antes de tomar las decisiones finales (Lopez, 2014).

Los tipos de estaciones meteorológicas consideradas en una red básica son: sinópticas, agrometeorológicas, climatológicas y pluviométricas o Pluviográfica.

La densidad de la red debe tener en cuenta las condiciones socioeconómicas, físico-climáticas y de población reales en la zona de estudio. “Es casi imposible instalar y explotar de manera satisfactoria una red de estaciones, donde la población es tan escasa que difícilmente se puede contar con observadores para su operación” (Lopez, 2014).

En la Tabla 2 se observa la clasificación de la OMM de las estaciones meteorológicas a tener en cuenta en una red mínima, estos valores son propuestos para una cobertura diseñada para territorios donde no hay presencia de accidentes orográficos que alteren el comportamiento de las variables climatológicas.

Tabla 2. Distribución de las estaciones meteorológicas para una red mínima funcional

Grupo	Tipo estación	Distancia (km)	Radio acción promedio (km)	Sugerencias técnicas OMM
1-R	REFERENCIA	Entre 300 y 400	Entre 150 y 200	Una por cada 4 o 5 del primer grupo
1	SP - CP - AM	Entre 150 y 200	Entre 75 y 100	Aprox. una por cada 10 estaciones del 2 grupo
2	CO - ME	Entre 50 y 60	Entre 25 y 30	Aprox. 10 estaciones por cada una del primer grupo
3	PM - PG	Entre 25 y 30	Entre 12 y 15	La mitad de la distancia en áreas montañosas

Fuente: Nota técnica No. 111 de la OMM. Adaptado López. 2008

Resultados y discusión

La estación La Pitilla instalada en el SFF Los Flamencos presenta daños estructurales provocados por la salinidad y humedad de la zona, esto generó corrosión causando el desprendimiento del panel solar y la estación meteorológica, Además presenta fallas en la operación y recolección de datos desde el 14 de septiembre de 2019, al analizar las series se encontró que no se registraron datos hasta mayo de 2020; existen irregularidades en los registros del mes de agosto de 2019; presenta errores en la mayoría de los sensores.

En PNN Serranía de La Macuira La estación Akumerapü presenta fallas del sistema GPRS mostrando errores en el Hardware, encargado de la transferencia de información desde los sensores hacia el registrador, hay fallas en el tipo de comunicación manejada por el sistema debido al mal funcionamiento del equipo encargado de la conexión a internet y el GPS, debido a esto el sistema no muestra ningún dato. Las estaciones Pali'isiwo'u y Jalein presenta fallas en los sensores desde el mes de octubre hasta diciembre de 2018, aun así, presentó registros de buena calidad en el año 2019. La estación de Chuwaapa'a no presenta fallas en su funcionamiento, hasta finales del año 2020 seguía operando con normalidad

Estas fallas se podrían estar presentando por falta de mantenimiento de los sensores y las estructuras de las estaciones ya que, al ser una zona con influencia de masas de aire salinas (procedentes del Atlántico) y fuertes vientos que pueden llevar consigo arena que choca contra el instrumental, el mantenimiento debe realizarse a intervalos más frecuentes y por personal capacitado. Desde su instalación, a diciembre de 2020 no había recibido mantenimiento, desconociendo la recomendación del fabricante sobre la limpieza y calibración del instrumental, por último, el emplazamiento de los sensores de temperatura y precipitación está incorrecto, el primero no cumple la altura máxima de 1,5 a 2 m y el segundo no se encuentra a una distancia del doble de la altura del obstáculo más cercano la cerca.

Los resultados de calidad y operación fueron los siguientes:

Tabla 3. Calidad de la información de las estaciones de PNN en el departamento de La Guajira

Estación	Categoría	Indicador de operación
Chuwaapa'a	CP	Regular
Pali'isiwo'u	CP	Mala
Jalein	CP	Mala
Akumerapü	CP	Mala
La Pitilla	CP	Mala

Propuesta de red meteorológica de PNNC-DTCA del departamento de La Guajira

Las características topográficas del departamento son generalmente planas con algunas serranías que no sobrepasan los 650 msnm como La Macuira, hasta llegar la Sierra Nevada de Santa Marta que logra alcanzar todos los pisos térmicos y variaciones hipsométricas con fuertes pendientes en algunos casos, por lo cual es necesario ajustar la densidad de estaciones para esta área, ya que la orografía tiene una incidencia importante en el comportamiento de las variables meteorológicas (Tabla 4.).

Tabla 4. Valores medios de cobertura para una red mínima ajustada

Grupo	Tipo	Terreno sin accidentes orográficos – OMM		Terreno montañoso	
		Distancia media (km)	Radio de acción (km)	Distancia media (km)	Radio de acción (km)
1	Climatológica Principal y Agrometeorológica (CP - AM)	150	7 5	20-30	10-15
2	Climatológica Ordinaria (CO – AU)	50	2 5	12	6
	Meteorológica especial (ME)	25	1 3	6	3
3	Pluviométrica (PM – PG)	25	1 3	6	3

Fuente: nota técnica 111-OMM. Adaptado L. López, 2008

Con el fin de optimizar las estaciones meteorológicas actuales y diseñar una red que cumpla con las necesidades de información de Parques Nacionales Naturales de Colombia para manejar las áreas protegidas de La Guajira, se realizó la distribución de las estaciones considerando que actualmente las estaciones instaladas solo cubren el 16,3% de la superficie de las áreas protegidas del departamento, además presentan fallas en su operación por lo cual no están proporcionando series de datos completas de calidad y que solo se han instalado estaciones automáticas de categoría climatológica principal.

Se tuvo en cuenta como ya se mencionó anteriormente que las estaciones automáticas deben estar ubicadas dentro del radio de acción de estaciones convencionales de referencia de la red del IDEAM en el departamento para así poder garantizar el seguimiento del funcionamiento de sus sensores. Se estudio la posibilidad de trasladar y ajustar las estaciones instaladas en el PNN Serranía de La Macuira ya que la densidad de estas es muy grande para la superficie del parque, además requieren la reubicación de los sensores de temperatura.

Una vez completado este análisis se procedió a diseñar la red, ubicando los nuevos puntos de monitoreo y ajustando la localización de las estaciones a trasladar (Figura 1), elaborando el mapa de ubicación de estaciones con su respectiva cobertura

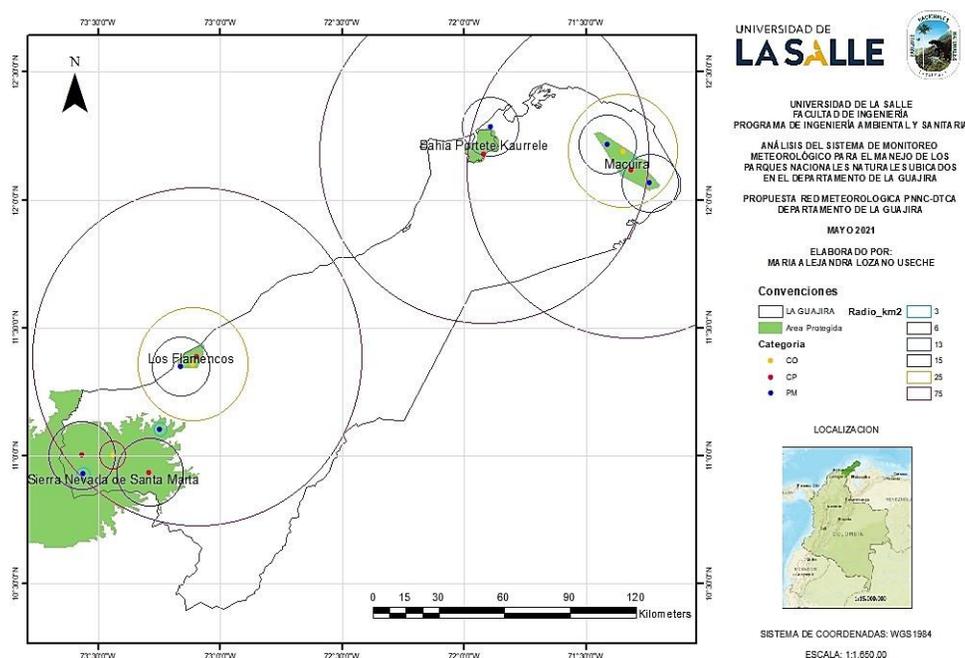


Figura 1. Propuesta Red meteorológica de PNNC-DTCA del departamento de La Guajira

Los mapas se diseñaron y fueron generados bajo la plataforma ArcGIS 10.7.1, tomando como base la información geográfica digital suministrada por el IDEAM, DANE, ESRI y PNNC. En la primera parte del proceso se georreferenciaron las nuevas estaciones a emplazar; posteriormente, se determinaron los límites de cobertura de cada una de las estaciones dependiendo de su tipo, a través de la herramienta de geoprocésamiento buffer de la interface de Arctoolbox.

Conclusiones

- Las áreas protegidas del departamento de La Guajira poseen mayor vulnerabilidad y menor adaptabilidad al cambio climático, ya que sus ecosistemas únicos viven en constante estrés climático, por ende, la instalación de una red meteorológica mínima funcional proveerá la información necesaria para realizar análisis, modelos y proyectos en pro de la conservación.
- Es posible conformar una red mínima eficiente instalando 9 estaciones meteorológicas y trasladando 3 estaciones ya adquiridas. Siendo ubicadas de manera estratégica teniendo la cobertura precisa para cumplir con las necesidades de información de PNN.
- La instalación de esta red mínima funcional y el correcto manejo de la información que proporcione, permitirá el cumplimiento de los objetivos de conservación junto con las prioridades integrales de conservación de manera más certera.
- No se debe dejar atrás la información que proporciona la red operada por el IDEAM siendo la red de referencia permitiendo la verificación de información, un acercamiento a las condiciones climáticas de las AP e incluso puede ser usada como complemento para las series que presenten vacíos de información.
- Se presentan fallas en la operación y el mantenimiento de las estaciones instaladas, por lo cual se deben realizar programas que estandaricen y faciliten estos procesos garantizando el funcionamiento eficiente de las estaciones.
- Se debe desarrollar un proceso serio de validación de la información generada por las estaciones automáticas, que en lo posible esté soportada con la existencia de instrumental convencional calibrado y/o sensores patrón.
- Las estaciones instaladas actualmente deben pasar por un proceso de revisión a profundidad donde se determine si es posible arreglarlas y/o el cambio de sensores, si esto no es posible será necesario el cambio completo de la estación ya que son compactas.
- La Sierra Nevada de Santa Marta es un área estratégica tanto para el departamento como para el país, por lo que la nulidad de estaciones meteorológicas en este ecosistema que permitan llevar un registro del comportamiento del clima, no asegurara su adaptabilidad frente al cambio climático, ni su conservación correcta lo cual podría traer fuertes impactos, como la disminución de agua potable para más de un millón de personas.
- De acuerdo a las prioridades integrales de conservación, áreas protegidas como La Macuira y Sierra Nevada de Santa Marta cuentan con actividades agrícolas tradicionales a conservar, por lo que se podría incluir la instalación de estaciones agrometeorológicas en las zonas donde se presenten estas actividades. Se deben tener en cuenta los tipos de cultivos al momento de adquirir las estaciones.
- Se recomienda adquirir un sistema de transmisión satelital y un software de procesamiento de información, esto permitirá tener los datos en tiempo real pudiendo crear sistemas de alerta temprana y la visualización, manejo y organización de los datos desde cualquier lugar del país.

- Se deben tener en cuenta las áreas sagradas de cada área protegida al momento de instalar las nuevas estaciones, estos sitios no pueden ser perturbados por lo que si alguna estación afecta estas zonas debe ser cambiado su lugar de instalación teniendo en cuenta la elevación recomendada.

Referencias bibliográficas

Corpoguajira. (2018). Plan integral de cambio climático del departamento de la Guajira. Obtenido de <http://corpoguajira.gov.co/wp/wp-content/uploads/2015/03/Plan-integral-de-cambio-climaticoPICC-La-Guajira.pdf>

Corpoguajira. (2020). PLAN DE ACCIÓN 2020 - 2023. Obtenido de <http://corpoguajira.gov.co/wp/wp-content/uploads/2020/06/PLAN-DE-ACCION-2020-2023.pdf>

López, V. L. (2014). Propuesta metodológica para el rediseño de una red meteorológica en un sector de la región andina. Publicaciones e investigación, 21. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1281>

OMM. (2011). Guía de Prácticas Hidrológicas N°168. Obtenido de http://www.whycos.org/hwrp/guide/index_es.php OMM. (2017). Guía del sistema mundial de observación. Suiza: OMM-N°488.

OMM. (2018a). Guía de prácticas climatológicas. Suiza: OMM-N°100. Obtenido de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10027

OMM. (2018b). Guía de instrumentos y métodos de observación. Suiza: OMM-N°8. Obtenido de https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=5280#.X7L-78hKjDc

PNNC. (2017). Lineamientos institucionales para afrontar el clima cambiante. Obtenido de https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2018/10/Linea_clima_cambiante_PNN2016-2020.pdf

Calidad del agua en ríos urbanos: caso río Fucha – Bogotá D.C.

Luisa Fernanda Uribe Laverde^{1*}

¹Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

*Luisa Fernanda Uribe Laverde: Cundinamarca, UNAD, Calle 14 Sur # 14 - 23–
Restrepo, Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia.. Email: luisa.uribe@unad.edu.co

Abstract

Bogotá have 4 rivers that run from east to west, one of them being the Fucha River, which discharges its waters into the Bogotá River, which ends its transfer into the Magdalena River to finally flow into the Pacific Ocean. This review establishes how the organized community recognizes the river's territory and rescues its natural value, and as another part of the community, has turned its back on the problem of contamination of the body of water, forgetting its nature and classifying it as a "pipe" to which gray and black water can be dumped and waste deposited, eliminating the river from the territory. The General Quality Index for Surface Waters - ICACOSU has been monitored along the first 3 sections of the Fucha River in 16 points, correlating the territorial reality, so it was established that in less than 5 kilometers the Fucha River loses the concentration of dissolved oxygen (3.31 mg / L monitoring point # 11) necessary to sustain life within; and it goes from being a body of water that is born in a paramo ecosystem to becoming the receptor of waste when crossing 5 localities. In its walk, it receives rainwater channels such as the San Blas, Río Seco and Comuneros, which increases the concentration of suspended solids, in addition to the occupation of public spaces by the citizen living on the street brings the dispersion of solid waste and an increase in the concentration of fecal coliforms.

KeyWords (en negritas): ICACOSU, Dumping, Monitoring, quality objectives, Pollutant load, Parameter

CALIDAD DEL AGUA EN RÍOS URBANOS: CASO RÍO FUCHA – BOGOTÁ D.C.

Resumen

Bogotá es bañada por 4 ríos que la recorren de oriente a occidente, siendo uno de ellos el río Fucha, que descarga sus aguas en el río Bogotá, quien termina su trasegar en el río Magdalena para finalmente desembocar en el Océano Pacífico. Esta revisión establece como la comunidad organizada reconoce el territorio del río y rescata su valor natural, y como otra parte de la comunidad, le ha dado la espalda a la problemática de contaminación del cuerpo de agua, olvidando su naturaleza y catalogándolo como “caño” al que se pueden verter aguas grises y negras y depositar residuos, suprimiendo del territorio al río. Se ha monitoreado lo largo de los 3 primeros tramos del río Fucha el Índice de Calidad General para Aguas Superficiales – ICACOSU en 16 puntos, correlacionando la realidad territorial, por lo que se estableció como en menos de 5 kilómetros el río Fucha pierde la concentración de oxígeno disuelto (3.31 mg/L punto de monitoreo #11) necesaria para sostener vida en su interior; y pasa de ser un cuerpo de agua que nace en un ecosistema de páramo a convertirse en el receptor de residuos al atravesar 5 localidades. En su andar recibe canales de aguas lluvias como el San Blas, Río Seco y Comuneros lo que aumenta la concentración de sólidos suspendidos, además la ocupación de los espacios públicos de parte del ciudadano habitante de calle trae la dispersión de residuos sólidos y el aumento en la concentración de coliformes fecales.

Palabras clave: Contaminación del agua, cuenca, índice de calidad de agua, participación comunitaria.

Introducción

La urbe Bogotana ha sufrido en los últimos años un crecimiento exponencial de su población, siendo de 7.181.469 habitantes para el censo del 2020 (DANE, 2020), lo que trae consigo la demanda de mayores recursos como el agua y la generación de mayores cantidades de residuos sólidos, dado que en el año 2017 el relleno sanitario Doña Juana recibió 180.000 toneladas de residuos al mes (Redacción Bogotá, 2017). En la distribución del manejo de las aguas residuales de la ciudad, la Secretaria distrital de ambiente (SDA) y la Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB) han diseñado como canales de recolección a los cuerpos de agua, incluido el río Fucha; por lo que desde el inicio de su recorrido en la localidad de San Cristóbal, a la altura de la carrera 5 este, el cuerpo de agua recibe las aguas del canal Albina, lo que afecta

negativamente su calidad por el arreste de sólidos (Mora y García, 2020). Para hacer sostenible la ciudad y aportar en la descontaminación del río Bogotá, trabajando no al final del tubo sino de manera preventiva, se han dispuesto objetivos de calidad para los ríos urbanos, metas que quedaron plasmadas en la Resolución 5731 de 2008, y que tenían fechas de cumplimiento para 4 y 10 años, cumpliéndose el plazo máximo en el año 2019. Por lo que los trabajos recopilados han ido en función de determinar la calidad del agua a través del índice ICACOSU, un índice que establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y que permite de una manera cuantitativa darle un valor cualitativo a la calidad del agua en una escala de Excelente a Muy Malo e igualmente hacer la valoración del impacto de los residuos sólidos sobre la ribera del río Fucha.

Metodología

La metodología utilizada es la revisión de la documentación aportada por 3 trabajos de grado de estudiantes de programa de ingeniería ambiental de la UNAD, sumada a la información aportada por las localidades por donde transita el río Fucha en relación con las políticas establecidas para su cuidado, y lo referente a los informes reportados por la SDA y la EAAB en relación con los objetivos de calidad y los monitoreos que se realizan en el cuerpo de agua. Igualmente, la consulta de los planes de desarrollo y planes ambientales e las alcaldías locales de San Cristóbal, Antonio Nariño, Puente Aranda, Kennedy y Fontibón.

Lo primero que se realizó fue la revisión de estos documentos, para posteriormente analizar, contrastar y unificar las informaciones para dar un hilo conductor que permitiera dar una visión general del río Fucha en los tramos 1, 2 y 3 en el contexto de ciudad como aportante a la cuenca del río Bogotá.

Finalmente, con las informaciones y el contexto se da un diagnóstico del estado actual de la calidad del agua del Río Fucha, información que se ha compartido con los actores interesados, tanto el sector institucional como el social.

Resultados y Discusión

Los ríos urbanos de la ciudad han sido divididos en tramos, para de esta manera poder analizar el estado de estos de manera segmentada, entendido que su recorrido se ve afectado por el uso del suelo dependiendo de la zona de la ciudad donde se encuentre. Por lo que el río Fucha se divide en 4 tamos, siendo el tramo 1 desde su salida de la reserva natural El Delirio hasta la carrera 10, el tramo 2 hasta la carrera 50, el tramo 3 hasta la avenida Boyacá y el tramo 4 que desemboca en el río Bogotá. El estudio se

centra en los tramos 1, 2 y 3 revisando el estado de la calidad del agua a través del índice ICACOSU y el manejo de residuos sólidos en los tramos 1 y 2. Haciendo énfasis en la relación del río con los actores involucrados en cada parte de la ciudad.

Mora y García (2020) evidencian para el tramo 1 del río Fucha la toma de 4 puntos de muestreo y para el tramo 2 la toma de 6 puntos de monitoreo, mientras que Reyes y Hernández (2021) para el tramo 3 tomaron 6 puntos de monitoreo. En todos los tramos los valores fueron contrastado con los valores obtenidos por red de monitoreo del recurso hídrico de la EAAB y comparados con la resolución la Resolución 5731 de 2008.

El ICACOSU a lo largo de los tramos tiene la siguiente tendencia: el tramo 1 inicio con una calidad del agua Buena terminando con un valor de Medio (Mora y García, 2020), el tramo 2 inicio con una calidad medio terminando en malo (Mora y García, 2020), y el tramo 3 inicio con una calidad Mala terminando en Muy Mala (Reyes y Hernández, 2021). Véase la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de laboratorio

Puntos de Monitoreo	Valor ICACOSU	Clasificación ICACOSU	% Cumplimiento norma	
1	Tramo 1	0,73	Bueno	83,3
2	Tramo 1	0,71	Bueno	66,7
3	Tramo 1	0,57	Medio	33,3
4	Tramo 1	0,44	Malo	50,0
5	Tramo 2	0,51	Medio	16,7
6	Tramo 2	0,53	Medio	16,7
7	Tramo 2	0,39	Malo	16,7
8	Tramo 2	0,44	Malo	16,7
9	Tramo 2	0,43	Malo	33,3
10	Tramo 2	0,47	Malo	16,7
11	Tramo 3	0,37	Malo	50
12	Tramo 3	0,35	Malo	83,4
13	Tramo 3	0,28	Malo	83,4
14	Tramo 3	0,26	Malo	60
15	Tramo 3	0,25	Muy Malo	50
16	Tramo 3	0,22	Muy Malo	33,4

Igualmente, se puede observar, que la capacidad de recuperación del río en tramo 1 es mayor debida a que allí no se encuentra canalizado, y organizaciones como la

Corporación Vida, han trabajado de manera conjunta con la Alcaldía Local de San Cristóbal para preservar y cuidar la ronda hídrica del río Fucha, donde es visible la apropiación del territorio y se siente el entorno vivo del río.

En el recorrido del tramo 2, cuando cruza el río la carrera décima, ya se encuentra canalizado y empieza a cruzar la zona comercial del barrio Restrepo, donde una de las principales problemáticas es el ciudadano habitante de calle (HC), que como lo refiere Leal (2019), es una de las principales causas por las que el canal del río Fucha se vea lleno de residuos. Si bien la comunidad de la UPZ de Ciudad Jardín como lo comenta Leal (2020), está dispuesta a colaborar, no acuden a los espacios de concertación frente al río, y se evidencia una asincronía de los tiempos de recolección de los residuos por parte de la empresa recolectora LIME, por lo que los CHC llegan en busca de los residuos como fuente de comida o fuente de recursos a través del reciclaje (Leal, 2019).

Es evidente también como la falta de apropiación del espacio público, hace que las zonas verdes aledañas a la ribera del río sean usadas por el CHC o para la venta de sustancias psicoactivas, como lo refiere Leal (2019), por lo que bahías de ingreso para el dragado del canal, las bases de los puentes peatonales y vehiculares son espacios perfectos para la acumulación de residuos domésticos, residuos de escombros y alojamiento de CHC (Leal, 2019).

En el tramo 3, el río se encuentra con la localidad industrial de Puente Aranda y Fontibón, en las que recibe descargas industriales con alto contenido de materia orgánica (reyes y Hernández, 2021), dejando ver cómo el río pierde la concentración de oxígeno disuelto, pasando de 3.31 mg/l en punto de monitoreo #1 a 0.63 mg/l en el punto de monitoreo #4. y así su capacidad de auto depuración.

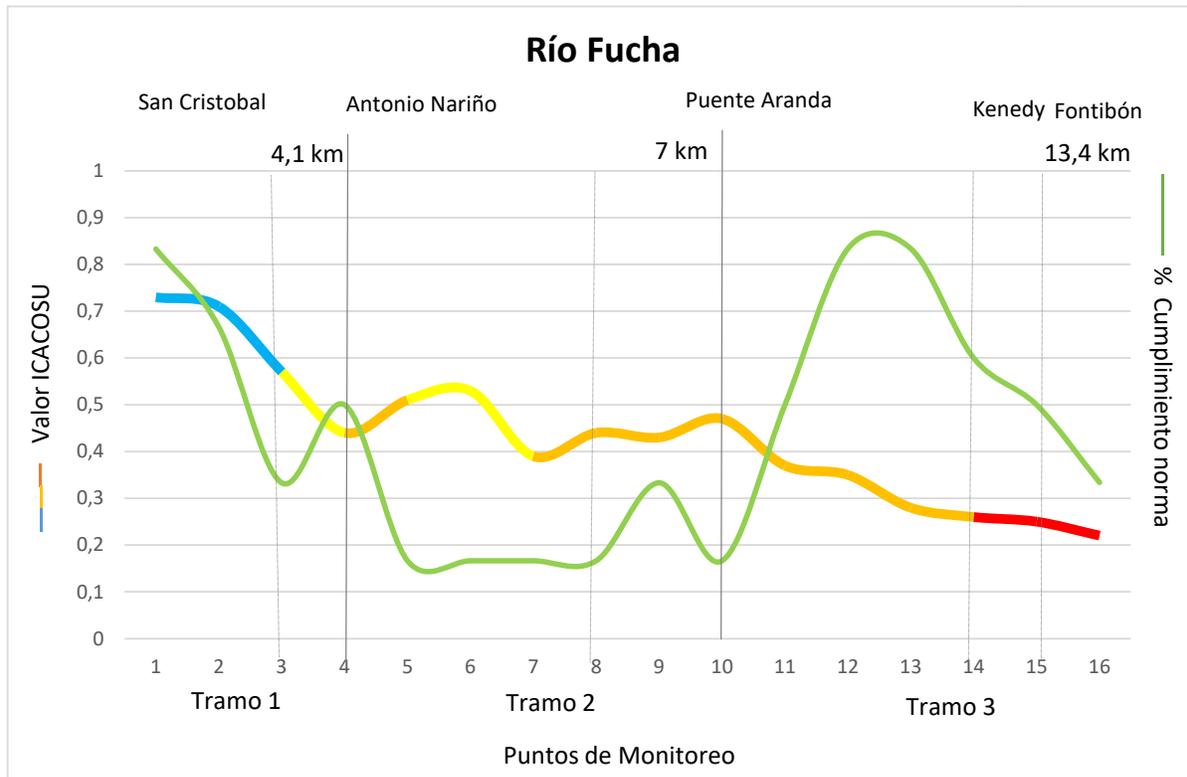


Figura 1. Variación ICACOSU puntos de monitoreo Río Fucha

Si bien las alcaldías locales de Puente Aranda y Fontibón en sus planes de manejo ambiental mencionan el trabajo de recuperación del río Fucha, no hay acciones concretas que contribuyan al mejoramiento de la calidad del recurso hídrico, ni un seguimiento al proceso de cumplimiento de los objetivos de calidad planteados, se suma a esto el desinterés de la comunidad aledaña, al darle la espalda a su vecino el río y a dejarlo ser un caño.

Es de conocimiento por parte de las autoridades ambientales como la SDA y la EAAB los resultados encontrados, mostrando su interés por aunar esfuerzos en los espacios de las mesas ambientales locales para llegar a acuerdos entre la comunidad, el sector productivo y las entidades gubernamentales.

Conclusiones

- Es evidente el deterioro del río fecha en escasos 6 kilómetros de recorrido al dejar la reserva natural El Delirio, pasa de una calidad Buena a una calidad Muy mala según el índice ICICASU calculado.
- La participación comunitaria, la apropiación del espacio público y el reconocimiento del río como fuente de vida es indispensable para la recuperación del cuerpo de agua.
- Es necesario una participación interdisciplinaria entre la comunidad, la academia, el sector industrial y las instituciones gubernamentales para hacer viable el cumplimiento de objetivos de calidad.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía Local Puente Aranda. (2012). Plan Ambiental localidad Puente Aranda. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883174/PAL+Puente+Aranda+2013-2016.pdf>
- Alcaldía local de Kennedy. (2016). Localidad Numero 8. Recuperado el 17 de junio de 2020, de <http://www.kennedy.gov.co/content/localidad-kennedy>
- Alcaldía Local de Puente Aranda. (2016). Plan Ambiental Local de Puente Aranda. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883174/PAL+Puente+Aranda+2013-2016.pdf>
- DANE (2020). LA INFORMACIÓN DEL DANE EN LA TOMA DE DECISIONES DE LAS CIUDADES CAPITALES. obtenido de: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-desarrollo-territorial/110220-Info-Alcaldia-Bogota.pdf>
- EAAB. (2015). La recuperación del río Fucha. Recuperado el abril de 2020, de https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB/anotsecsecundaria/not_recupera_riofucha_30_11_15!/ut/p/z1/rVPBUslwEP0WDz1CtmkprbeCDsgMOIMKNJdOGtl2CklJUxC_3ignRpBxMJNDdvP2zdvnCyJogYikW1FQl5SkKxsnJEij6C52MeDJYBh5EM-m-CF-7gO4gGallFlxsUQJdHzKMwCfssD1cZ4FLMzyDnQDv
- Mora, Daniela; Garcia Jose. (2020). Determinación de calidad del recurso hídrico del Río Fucha en los tramos 1 y 2. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33517/dmorafr.pdf?sequence=3>
- Leal, Laura (2019). INFLUENCIA DE LA POBLACIÓN EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL TRAMO 2 DEL RÍO FUCHA - BOGOTÁ D.C. obtenido de: <http://search.ebscohost.com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/login.aspx?dir>

- Redacción Bogotá. (22.08.2017). Relleno Doña Juana: ¿hasta 2070? Disponible en:
<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/relleno-dona-juana-hasta-2070-articulo-709393>
- Reyes, A. & Hernández, J. L. (2020). Determinar el estado actual de la calidad del agua en el tramo tres (3) del Río Fucha según la Resolución No. 5731 de 2008.. [Proyecto Aplicado o Tesis]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38813.ect=true&db=edsbas&AN=edsbas.41108734&lang=es%2ces&site=eds-live&scope=site>. Acceso em: 16 abr. 2021.
- SDA & EAAB. (2008). Calidad del sistema hídrico de Bogotá. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá.: <https://docplayer.es/22120905-Calidad-del-sistema-hidrico-de-bogota.html>
- SDA. (2008). RESOLUCIÓN 5731 DE 2008. Bogotá: <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%C3%93N%205731%20DE%202008.pdf>.

Avances en el análisis de los impactos del uso del suelo sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica suministrados por páramos

Arley David Celis Vargas¹, Edgar Ricardo Oviedo Ocaña^{1*}, Andrés Gabriel Barón Botero¹

¹Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH), Escuela de Ingeniería Civil (EIC), Universidad Industrial de Santander (UIS).

*Autor corresponsal: Escuela de Ingeniería Civil (EIC), Universidad Industrial de Santander (UIS). Campus principal, carrera 27 con calle 09 – Barrio La Universidad, Bucaramanga, Santander. Código Postal: 680002. Colombia. Email: eroviedo@uis.edu.co.

Resumen

Los páramos son ecosistemas ampliamente reconocidos por su capacidad de suministrar los servicios ecosistémicos hidrológicos de abastecimiento y regulación hídrica. Estos ecosistemas albergan comunidades que, a través de actividades relacionadas con la agricultura y la extracción de agua de las corrientes, alteran la prestación de estos dos servicios. Teniendo en cuenta su vulnerabilidad ante actividades antrópicas, en este estudio se analizó el estado de los servicios de abastecimiento y regulación hídrica en dos unidades hidrográficas, localizadas en el Distrito de Manejo Integrado del páramo de Berlín (DMI-Berlín), las cuales, se encuentran sometidas a diferentes niveles de intervención. Para la elaboración de este estudio, se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura acerca de los métodos más adecuados para analizar la problemática y, se estimaron los impactos de la agricultura a través de la aplicación del enfoque de cuencas experimentales, el análisis de la Curva de Duración de Caudales y cinco indicadores hidrológicos. Los resultados evidenciaron que la Unidad Hidrológica Intervenida, presentó una menor capacidad de prestar los servicios de abastecimiento y regulación.

Palabras clave: abastecimiento, indicadores, páramos, regulación, revisión sistemática.

1. Introducción

Los ecosistemas de montaña son considerados territorios estratégicos para el desarrollo sostenible global, debido a que están vinculados con el suministro de bienes y servicios indispensables para una proporción significativa de la humanidad (Wehrli, 2014). Se estima que alrededor del 12% de la población mundial habita estos ecosistemas, y más de la mitad depende directa o indirectamente de ellos (Torres et al., 2014). Los ecosistemas de montaña con apenas el 24% de la extensión global, son capaces de proporcionar cerca del 80% de los recursos de agua dulce del planeta (Torres et al., 2014). Estos ecosistemas poseen una diversidad sobresaliente, se localizan en todos los continentes y en un amplio rango de altitudes, que van desde el nivel del mar hasta los sitios más altos del planeta (Price, 1998). Entre los diferentes ecosistemas de montaña es posible destacar a los páramos, sitios considerados espacios de vida, regiones con una biodiversidad única, símbolos culturales, guardianes del agua y el sustento de muchas comunidades andinas (Llambí et al., 2012).

Los páramos son ecosistemas tropicales de alta montaña, localizados entre el límite forestal (3000 - 3800 m s. n. m.) y la línea de nieves perpetuas (4400 - 4800 m s. n. m.) (Hofstede, 1995). Estos ecosistemas se pueden encontrar en países andinos como Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, y en complejos aislados de Panamá y Costa Rica (Vásquez & Buitrago, 2011). En particular, Colombia posee alrededor del 49% de los páramos del mundo, cubriendo aproximadamente el 1.7% del territorio nacional (Cabrera & Ramírez, 2014).

Los páramos son ecosistemas multifuncionales con características únicas que proveen dos servicios ecosistémicos hidrológicos vitales en el desarrollo socio ambiental: el primero, se refiere al servicio de abastecimiento hídrico; y el segundo, al servicio de regulación hídrica (Nieto et al., 2015). El abastecimiento hídrico, se refiere a la capacidad que tienen las cuencas hidrográficas de producir cantidades de agua en períodos específicos (OMM, 2012). Este servicio se puede entender mediante la comparación del páramo con una fábrica encargada de la producción de volúmenes de agua. Con respecto a la regulación hídrica, esta se puede definir como la capacidad que tiene el ecosistema de almacenar agua en períodos de lluvia y liberarla de manera controlada en tiempos de estiaje (Cárdenas & Tobón, 2017). En este servicio, el páramo se comporta como una esponja que a través de sus suelos se encarga de almacenar cuidadosamente el agua con la finalidad de ofertar un suministro sostenido en el tiempo (Llambí et al., 2012).

La problemática asociada a estos dos servicios, es la vulnerabilidad que presentan ante transformaciones del territorio, por ejemplo: cambios en las coberturas y los usos del suelo, actividades que no son ajenas a los ecosistemas de páramo (CONDESAN, 2013). Distintas investigaciones llevadas a cabo en páramos andinos han demostrado que la agricultura, la forestación, la ganadería y las quemadas, son actividades antrópicas que impactan notablemente a los servicios hidrológicos de abastecimiento y regulación hídrica (Buytaert et al., 2004, 2007; Cárdenas & Tobón, 2017; Daza et al., 2014; Espinosa & Rivera, 2016; Hofstede, 1995). Por ejemplo, Ochoa-Tocachi et al. (2016) encontraron

que las cuencas hidrográficas cultivadas, responden a los eventos de lluvia con caudales pico más altos y cortos, haciendo que las curvas de recesión se caractericen por ser más inclinadas. Este patrón fue descrito por los autores, como una evidencia en la pérdida de la capacidad de regulación hídrica. En relación con el abastecimiento hídrico, los mismos investigadores encontraron que las cuencas hidrográficas con agricultura, se caracterizan por producir menores rendimientos hídricos por unidad de área que las cuencas hidrográficas no intervenidas (Ochoa-Tocachi, Buytaert, De Bièvre, et al., 2016).

La problemática anterior no es ajena al territorio colombiano. De hecho, se estima que en Colombia, lugar donde los páramos constituyen las nacientes de las corrientes hídricas que abastecen al 70% de la población, los ecosistemas de páramo se encuentran sometidos a cambios de cobertura alarmantes (Cabrera & Ramírez, 2014). Una de las situaciones críticas se halla en la cordillera Oriental, pues en esta región cerca del 21% de los páramos está sometido a transformaciones que modifican las coberturas naturales por tierras destinadas a la agricultura, pastoreo, urbanización y otras actividades extractivas (IAvH, 2016).

Una muestra de ello, es la situación que se presenta en el Distrito de Manejo Integrado del páramo de Berlín (DMI-Berlín). Este es un territorio habitado por comunidades que basan sus actividades productivas principalmente en el cultivo de papa y cebolla de rama. Tal es la magnitud que, la producción de cebolla de rama de los municipios de Tona y Silos, que conforman el DMI-Berlín, es de alrededor de 55000 y 1000 toneladas al año, respectivamente. Esta cifra los posiciona en el segundo y décimo sexto lugar, en la lista de los municipios más productores de cebolla de rama del país (MinAgricultura, 2017a). En cuanto a la producción de papa, el municipio de Silos genera anualmente cerca de 33000 toneladas al año, ocupando el trigésimo segundo lugar de la lista de los municipios más productores de papa del país (MinAgricultura, 2017b). En adición, actividades como el pastoreo extensivo y moderado, además de la demanda hídrica para el consumo de alrededor de 8920 habitantes, son otros factores que generan presión sobre los recursos hídricos del DMI-Berlín (CDMB & CORPONOR, 2008).

Teniendo en cuenta este panorama, se hace necesario comprender los efectos que las diferentes actividades relacionadas con el cambio de uso y cobertura de los suelos, generan sobre los servicios hidrológicos de regulación y suministro, con miras a gestionar de manera sostenible los recursos hídricos del lugar. En este sentido, esta investigación tiene como objetivo general: analizar el estado de los servicios de abastecimiento y regulación hídrica en dos unidades hidrográficas del DMI-Berlín, sometidas a diferentes niveles de intervención antrópica. Para dar cumplimiento a ello, se plantean los dos objetivos específicos siguientes: (i) caracterizar los métodos utilizados en ecosistemas de páramo, para el análisis de los impactos del cambio de uso de suelo y cobertura sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica, a través de la ejecución de una revisión sistemática de literatura; y (ii) estimar los impactos producidos por los cambios en el uso del suelo y sus coberturas sobre los servicios de abastecimiento y regulación

hídrica, mediante la aplicación de los métodos hidrológicos más representativos identificados en la revisión.

Esta investigación se encuentra alineada con marcos de referencia globales suscritos por la nación para el desarrollo sostenible y la mejora del bienestar de sus habitantes. Entre estos marcos, es posible destacar a la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Con respecto a la GIRH, este estudio aporta a los objetivos de la conservación de la cantidad de agua y la reducción de la vulnerabilidad de unidades hidrográficas. En relación con los ODS, esta investigación promueve primordialmente el logro del sexto objetivo (Agua Limpia y Saneamiento). Específicamente, aporta a la meta 6.4 que promueve el uso eficiente de los recursos hídricos, la sostenibilidad de las extracciones y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez hídrica (ONU, 2017).

En síntesis, se espera que los resultados de este estudio aporten a la comprensión de la relación entre las alteraciones en los suelos de páramo y el estado de los servicios de abastecimiento y regulación hídrica. Sobre todo teniendo en cuenta que, el DMI-Berlín es un páramo especialmente seco que se encuentra sometido a conflictos relacionados con el uso de las tierras (CDMB & CORPONOR, 2008; Duarte-Abadía & Boelens, 2016). Esta es una problemática que a la fecha sigue sin definirse, aunque la última disposición habilitó lineamientos para el establecimiento de programas de reconversión y sustitución de actividades agrícolas (Díaz et al., 2020).

2. Metodología

En este componente del documento, se presentan los pasos y las características de la metodología adoptada para el desarrollo de esta investigación. En primer lugar, se enuncian las particularidades relativas al sitio de estudio. Posteriormente, se detalla la metodología aplicada para la identificación de los enfoques que permiten analizar los impactos de las alteraciones de los suelos sobre los servicios hidrológicos. Y finalmente, se presenta el enfoque metodológico seleccionado para el análisis de los impactos a los servicios de abastecimiento y regulación hídrica.

2.1. Sitio de estudio

La selección de las unidades se llevó a cabo mediante la aplicación del enfoque de cuencas pareadas, el cual, plantea que las dos unidades deben ser lo más similares posible, excepto por la perturbación antrópica que se quiere evaluar (Best et al., 2003). En otras palabras, las dos unidades deben ser adyacentes, tener tamaños semejantes y poseer características topográficas, morfométricas, geológicas, edafológicas y climáticas similares (Brown et al., 2005). Tras considerar los criterios enunciados, se realizó la elección de las dos unidades hidrográficas dispuestas en las Figuras 1 y 2.

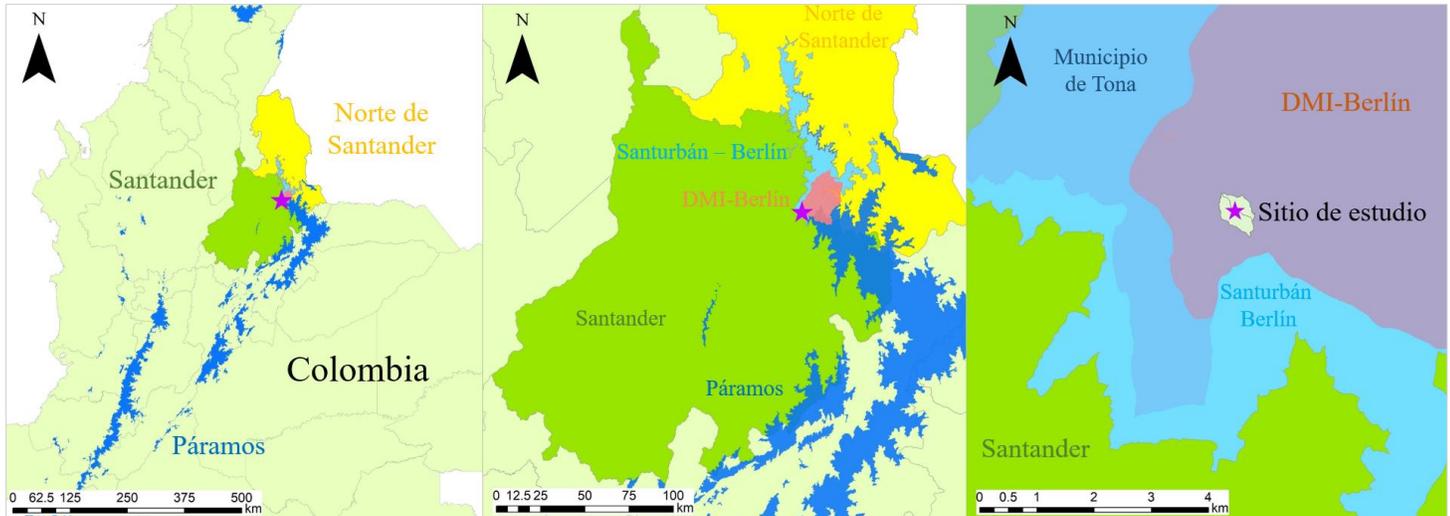


Figura 1. Contexto geográfico y administrativo del sitio de estudio.

Como se puede apreciar en la Figura 1, el sitio de estudio corresponde a dos unidades hidrográficas localizadas en el municipio de Tona, al oriente del departamento de Santander. Con respecto al contexto paramuno, ambas unidades hacen parte del DMI-Berlín, que a su vez pertenece al complejo de páramos conocido como «Jurisdicciones Santurbán - Berlín (CJSB)». De manera específica, las unidades se localizan en la vereda «Parra y Juan Rodríguez», ubicada a 12 km del centro poblado de Berlín. Otros aspectos específicos de las unidades se presentan en la Figura 2.

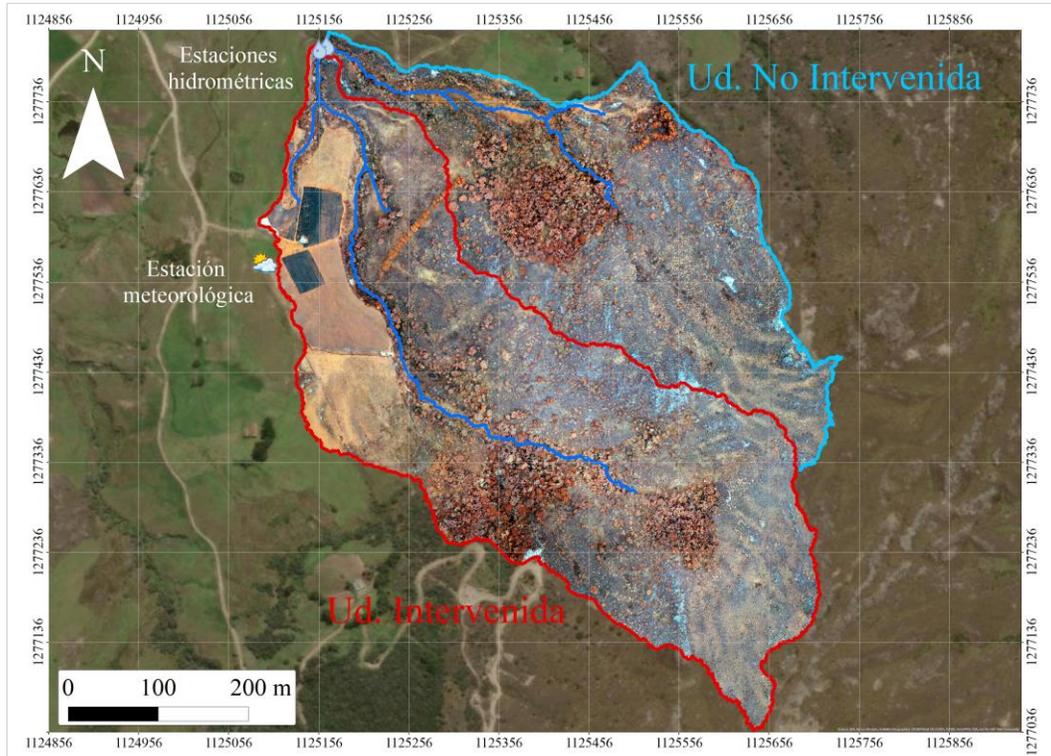


Figura 2. Unidades hidrográficas de estudio.

Como se ilustra en la vista específica del sitio de estudio (Figura 2), las dos unidades poseen distintos niveles de alteración antrópica. Por una parte, se tiene a la Unidad Hidrográfica Intervenido (delimitada en rojo en la Figura 2), que presenta intervenciones relacionadas con cultivos y extracciones hídricas para el desarrollo de las actividades en la zona. Por otra parte, se tiene a la Unidad Hidrográfica No Intervenido (delimitada en azul en la Figura 2), que no se encuentra sometida a intervenciones mayores, la cual, en este estudio es considerada como la unidad hidrográfica de control. En síntesis, las características particulares de cada unidad se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las unidades hidrográficas de estudio.



Categoría	Variable	Unidad	Unidad Intervenido	Unidad No Intervenido
Características geomorfológicas	Área	ha	18.911	11.130
	Perímetro	m	3018.794	2347.394
	Latitud	° ' "	7° 6' 11.66" N	7° 6' 18.10" N
	Longitud	° ' "	72° 56' 33.14" O	72° 56' 29.99" O
	Altitud media	m s. n. m.	3549.696	3538.093
	Pendiente media	°	24.259	27.118
	Tipos de intervenciones	No aplicable	Cultivos (15% del área) Extracciones hídricas hacia dentro y fuera de la unidad hidrográfica	Menores
	Tipos de suelos	No aplicable	Typic Humitropepts - Typic Dystropepts	Typic Humitropepts - Typic Dystropepts
Geología general	No aplicable	Cuarzomonzonita de Santa Bárbara	Cuarzomonzonita de Santa Bárbara	
Características pluviométricas	Precipitación anual	mm	1243.5	1243.5
Características hidrométricas	Caudal medio diario	l/s	2.614	2.811
Características meteorológicas	Radiación solar media (6 a. m. – 6 p. m.)	W/m ²	448.72	448.72
	Humedad relativa media	%	86.03	86.03
	Temperatura media	°C	8.39	8.39
	Velocidad media del viento	km/h	5.17	5.17

Direcciones principales del viento	No aplicable	NE (37% de las veces) SE (41% de las veces)	NE (37% de las veces) SE (41% de las veces)
Punto de rocío medio	°C	5.89	5.89

2.2. Revisión sistemática de literatura

Actualmente, a causa de fenómenos relacionados con la globalización y la digitalización de la información, existe una gran cantidad de publicaciones académicas accesibles, lo cual, constituye un desafío para la consolidación de una base de datos adecuada que permita la realización de una revisión de literatura óptima (Sudheesh et al., 2016). Teniendo en cuenta la premisa anterior, en esta investigación se adoptó una metodología denominada «revisión sistemática». En resumen, la metodología se basa en la ejecución de una inspección exhaustiva llevada a cabo de manera metódica, siguiendo un protocolo preestablecido para minimizar el sesgo y sintetizar la información recopilada (Hanley & Cutts, 2013).

En este orden de ideas, el primer objetivo, es decir: la identificación y caracterización de las metodologías aplicadas en páramos, para el análisis de los impactos que producen los cambios en el uso del suelo y sus coberturas, sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica, se llevó a cabo siguiendo los criterios sugeridos por distintos autores para la aplicación del enfoque sistemático (Harris et al., 2014; Pati & Lorusso, 2018; Piper, 2013). Las generalidades de la aplicación de la revisión sistemática de literatura se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Generalidades de la aplicación del enfoque sistemático.

Etapa	Paso	Actividad	Resultado
Aprendizaje	1	Familiarización con enfoque de revisión sistemática	Lectura de los documentos publicados por: Harris et al. (2014); Pati y Lorusso (2018); y Piper (2013).
Caracterización de la investigación	2	Identificación de pregunta central de investigación	¿Qué enfoques metodológicos se han aplicado en páramos, para el análisis de los impactos a los servicios de abastecimiento y regulación hídrica, que producen los cambios en el uso del suelo y sus coberturas?
	3	Identificación de conceptos clave del estudio	Se identificaron los conceptos clave de la pregunta de investigación, los cuales correspondieron a:



			<p>cambio del uso del suelo (land use change); cambio de las coberturas del suelo (land cover change); regulación hídrica (water regulation); abastecimiento hídrico (water production); y páramo (paramo).</p>
Definición de criterios	4	Selección de bases de datos relevantes para el tema	Se seleccionaron las bases de datos SCOPUS y ScienceDirect, debido a que contienen los artículos de las revistas más especializadas en el área de interés (p. ej., <i>Hydrological Processes</i> y <i>Journal of Hydrology</i>). También, se realizaron búsquedas de textos institucionales en la plataforma académica de Google (p. ej., capítulos de libros y guías de entes gubernamentales).
	5	Definición de criterios de inclusión y exclusión	Se definieron los siguientes criterios: idioma (español o inglés); período (entre 1990 y 2021); tipo de literatura (revisada por pares); y tipos de documentos (artículos de investigación, revisiones, capítulos de libros y publicaciones de congresos).
Búsqueda	6	Búsqueda en bases de datos con operadores booleanos	Se usaron las siguientes ecuaciones de búsqueda en inglés y sus versiones traducidas al español: <i>article title: land change hydrology paramo</i> OR <i>abstract: land change hydrology paramo</i> <i>article title: land change water paramo</i> OR <i>abstract: land change water paramo</i>
Revisión de documentos	7	Caracterización de documentos encontrados	Se construyó una tabla en Microsoft Excel con información relativa a: código de identificación, resumen, objetivo, año, título, revista, tipo de documento, autores, metodología central, caracterización del sitio de estudio, criterio de inclusión de los servicios de abastecimiento y regulación, y resumen de resultados.
	8	Revisión de títulos	No se descartaron documentos por el título.

	9	Revisión de resúmenes	Se descartaron cuatro documentos por el resumen, debido a que los estudios no abordaron la pregunta de investigación planteada.
	10	Revisión crítica de artículos completos	Se revisaron 73 documentos.
Ponderación	11	Ponderación numérica del investigador principal	Se estableció el criterio de ponderación siguiente: valor 1: documentos que responden la pregunta de investigación y presentan metodologías específicas para ello; valor 2: documentos que abordan la pregunta de investigación, pero no presentan metodologías explícitas para ello; y valor 3: documentos de soporte que abordan la temática de la pregunta de investigación a través de conceptos y resultados.
	12	Ponderación de par académico	Un investigador asociado a otra investigación afín, en la misma área de estudio, realizó la ponderación de los documentos bajo los mismos criterios descritos. Los resultados de ponderación mostraron consenso en el 69.86% de los documentos (51). En los demás documentos, la discrepancia fue mínima, pues se trataron de estudios entre las categorías 2 y 3.
Discusión	13	Análisis y discusión de los textos compilados	Se discutieron objetivamente los resultados a través de herramientas estadísticas.

2.3. Estimación de impactos

Para dar cumplimiento al segundo objetivo, de estimar los impactos que las alteraciones del uso del suelo promueven sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica, se aplicó el enfoque de cuencas experimentales basado en el método de cuencas pareadas y la aplicación de cinco indicadores hidrológicos asociados al análisis de la Curva de Duración de Caudales (CDC). La elección de este enfoque metodológico, obedeció a que este hace parte de los métodos más aplicados en los enfoques más representativos identificados en la revisión sistemática (Figura 6). En función de lo enunciado, los indicadores aplicados en este estudio se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Indicadores hidrológicos considerados.

Servicio	Indicador	Unidad	Identificador	Descripción
Abastecimiento hídrico	Caudal del nonagésimo percentil	l/(s * ha)	Q10	Se refiere al valor de caudal que es superado por el 10% de los caudales registrados en la CDC.
	Caudal del quincuagésimo percentil	l/(s * ha)	Q50	Hace referencia al valor de caudal que es superado por el 50% de los caudales registrados en la CDC.
	Caudal del décimo percentil	l/(s * ha)	Q90	Se refiere al valor de caudal que es superado por el 90% de los caudales registrados en la CDC.
Regulación hídrica	Índice de regulación hidrológica	No aplica	IRH	Es un indicador que califica cualitativamente la capacidad de retención y regulación hídrica. Se calcula como el cociente entre el área bajo la línea del caudal medio y el área total bajo la CDC.
	Pendiente de la curva de duración de caudales	l/(s * ha)	R2FDC	Se refiere a la pendiente del tercio medio de la CDC. Es decir, entre los percentiles 33 y 66%.

Adaptado de: IDEAM (2019); Ochoa-Tocachi, Buytaert y De Bièvre (2016); y Ochoa-Tocachi et al. (2016).

Para estimar los indicadores de la Tabla 3, se usaron 469 días de registros capturados por dos estaciones hidrométricas ubicadas en los puntos de desfogue de las unidades hidrográficas. Los registros de caudal se realizaron en intervalos de 5 y 15 minutos, iniciando el 01 de noviembre de 2019 y terminando el 30 de abril de 2021. Entre las fechas, no se capturaron registros en algunos períodos debido a problemas técnicos y a la problemática generada por la pandemia de COVID-19. Adicionalmente, en el sitio de estudio se instaló una estación meteorológica automática que, aunque no fue necesaria para el cálculo de los cinco indicadores de la Tabla 3, permitió la captura de la precipitación y otras variables meteorológicas típicas, importantes para la caracterización de las unidades y la discusión de los resultados. En concordancia con lo enunciado, los sistemas instalados con sus respectivos períodos de monitoreo e intervalos de captura, se presentan en las Figuras 3 y 4.



Figura 3. Sistemas de monitoreo instalados.

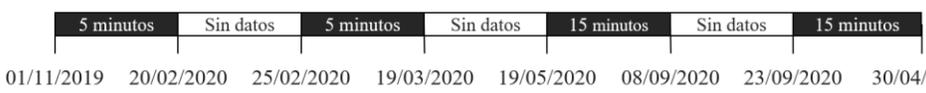
Sistema de monitoreo hidrométrico (transductores y canales)	
Sistema de monitoreo meteorológico (sensores meteorológicos montados en estación)	

Figura 4. Caracterización del período monitoreado.

3. Resultados y discusión

En este numeral del documento, se enuncian los resultados de la metodología aplicada para el cumplimiento de los objetivos planteados por esta investigación. En primera instancia, se presentan los resultados relacionados con la aplicación de la revisión de literatura. Posteriormente, se abordan los resultados alusivos a la estimación de los impactos sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica.

3.1. Revisión sistemática de literatura

Tras la aplicación de la metodología descrita en el numeral 2.2, se generaron los resultados acerca de la identificación y caracterización de los enfoques metodológicos utilizados en ecosistemas de páramo, para el análisis que los cambios en el uso y la cobertura de los suelos, promueven sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica. De la revisión de los 73 documentos ponderados, se logró identificar los marcos de referencia que preceden y contienen, en diferentes niveles jerárquicos, a los enfoques metodológicos específicos para el análisis de los impactos causados a los dos servicios. Con respecto a ello, la Figura 5 sintetiza la organización jerárquica de los distintos componentes.

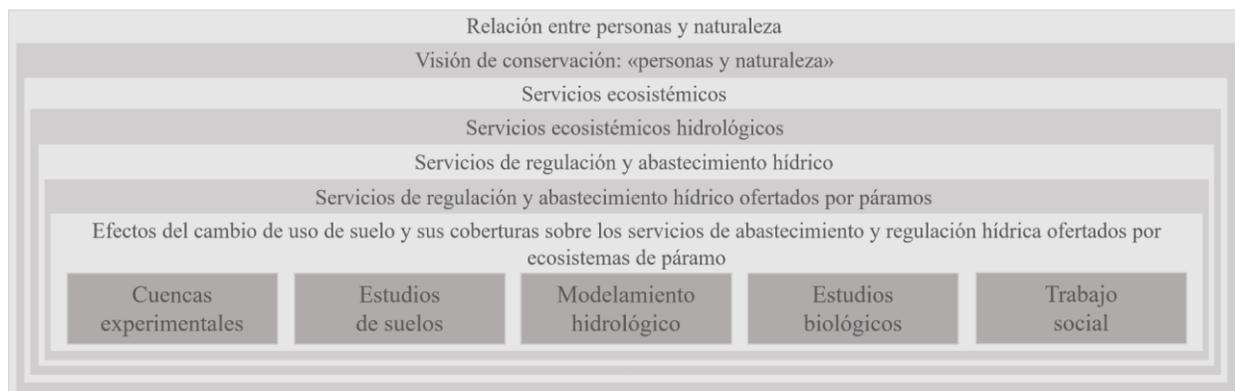


Figura 5. Marcos de referencia y enfoques metodológicos inherentes al tema de investigación.

En general, como se ilustra en la Figura 5, se identificaron tres grandes marcos de referencia que engloban la temática. El más grande corresponde al marco que estudia la «relación entre personas y naturaleza». Esta relación, se caracteriza por presentar interacciones dinámicas y complejas, razón por la cual, a través de los años se han planteado diferentes puntos de vista que la describan. Uno de ellos, corresponde a la visión de conservación denominada «personas y naturaleza», la cual, consiste en la comprensión de la relación como un vínculo multidimensional e interdisciplinario, que involucra conceptos clave como: resiliencia, adaptabilidad, cambio ambiental, sistemas socioecológicos y ciclos de realimentación (Mace, 2014; Nieto et al., 2015). Bajo este marco de referencia, se identificó otro conocido como «servicios ecosistémicos», que se

ha afianzado como una herramienta fundamental para la gestión de los sistemas socioecológicos y el bienestar humano (Agarwala et al., 2014; Caro-Caro & Torres-Mora, 2015).

Dentro del marco de los servicios ecosistémicos, se identificó otro más específico correspondiente a los «servicios ecosistémicos hidrológicos» que, a su vez, contiene a los «servicios de regulación y abastecimiento hídrico». En la revisión de los documentos, se identificó que los servicios de abastecimiento y regulación están vinculados fuertemente a los páramos, los cuales, corresponden a ecosistemas con una dinámica marcada en los cambios de uso y cobertura de los suelos.

En este contexto, se identificaron cinco grupos de enfoques metodológicos particulares que brindan insumos para abordar la jerarquía más específica de la problemática (Figura 5), es decir: la de los efectos provocados por los cambios en el uso y la cobertura de los suelos de páramo, sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica. Los cinco grupos identificados correspondieron a enfoques de: (i) cuencas experimentales; (ii) estudios de suelos; (iii) modelamiento hidrológico; (iv) estudios biológicos; y (v) trabajo social. De la revisión de los 73 documentos, se encontraron 51 estudios que respondieron la pregunta de investigación (Paso 2 de la

Tabla 2), los cuales se clasificaron en las categorías descritas como lo muestra la Figura 6.

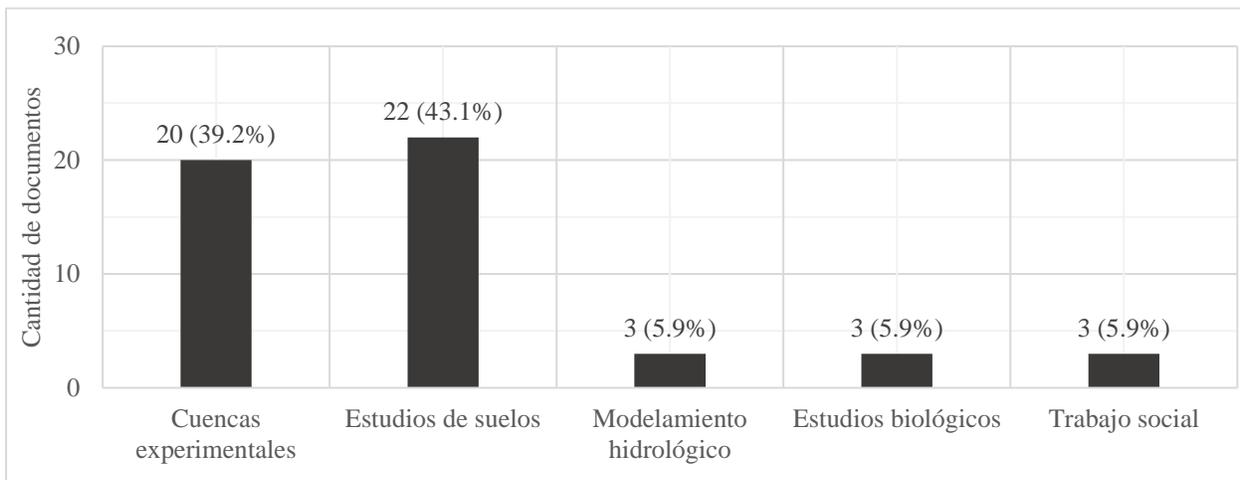


Figura 6. Clasificación de los 51 documentos en los enfoques metodológicos identificados.

De manera global, la información sintetizada en la Figura 6, muestra que la mayoría de los estudios revisados se concentraron en los enfoques metodológicos de cuencas experimentales (39.2%) y estudios de las propiedades de los suelos (43.1%). En cuanto a los enfoques restantes, se evidenció una menor cantidad de estudios en cada uno (5.9%).

De manera específica, se encontró que los métodos aplicados en cada uno de los cinco enfoques, están conformados por: (i) en cuencas experimentales, la metodología adaptada de cuencas pareadas y la estimación de índices hidrológicos; (ii) en estudios de suelos, el análisis de propiedades hidrofísicas como la humedad, densidad, porosidad y capacidad de retención hídrica; (iii) en modelamiento hidrológico, la simulación de escenarios en modelos computacionales como SWAT y WEAP; (iv) en estudios biológicos, el análisis del rol de la vegetación de los páramos; y (v) en trabajo social, la aplicación de metodologías participativas para la evaluación de los servicios.

A pesar de que en la Figura 5 se presentaron los cinco enfoques metodológicos de manera independiente, la revisión permitió identificar que existe una tendencia que busca desarrollar investigaciones interdisciplinarias, en las cuales los enfoques se realimenten de manera positiva. Uno de los ejemplos identificados de este tipo de aplicaciones, corresponde al trabajo realizado por Lazo et al. (2019), quienes discutieron la pregunta de cómo la vegetación, los suelos y las variables hidrometeorológicas influyen en el almacenamiento pasivo y dinámico de una unidad hidrográfica de páramo. En otro ejemplo, Cárdenas y Tobón (2017) a través de análisis hidrometeorológicos y de las propiedades hidrofísicas de los suelos, discutieron el rendimiento y la regulación hídrica con el objetivo de entender el funcionamiento y la capacidad de recuperación de los páramos tras intervenciones antrópicas. Otros estudios, como los publicados por Ochoa-Tocachi et al. (2018) y Nieto et al. (2015), constituyen otros ejemplos de aplicaciones colaborativas de los enfoques. En ambos casos, se abordó la temática del comportamiento de los servicios de abastecimiento y regulación hídrica ante actividades productivas, mediante el uso de estrategias hidrometeorológicas y sociales. Adicionalmente, otras aplicaciones interdisciplinarias se han llevado a cabo en diferentes estudios (Montenegro-Díaz et al., 2019; Thompson et al., 2021).

En resumen, se evidenció que los cinco enfoques identificados demostraron ser estrategias válidas para la evaluación del estado de los servicios de abastecimiento y regulación hídrica, incluso llegando a ser complementarios. Sin embargo, la revisión de literatura permitió identificar que, el enfoque de cuencas experimentales a través de la metodología de cuencas pareadas y la aplicación de indicadores hidrológicos basados en la Curva de Duración de Caudales (CDC), constituye uno de los métodos más adecuados para evaluar los impactos a los servicios de abastecimiento y regulación hídrica. Según varios autores (Ochoa-Tocachi et al., 2018; Ochoa-Tocachi, Buytaert, & De Bièvre, 2016; Toebes & Ouryvaev, 1970), las razones que sustentan la premisa anterior se refieren a que: el experimento de cuencas pareadas, reduce la incertidumbre

de la variabilidad climática que en muchos casos enmascara los resultados; la aplicación de indicadores basados en la CDC, permite analizar de manera rápida y confiable los efectos del uso del suelo en contextos que ameritan gestiones en corto plazo; y la aplicación del enfoque estudia a los servicios de regulación y abastecimiento de manera directa, a través de la instalación de sistemas de monitoreo que capturan el comportamiento de caudal.

3.2. Estimación de impactos

Tras la aplicación de la metodología descrita en el numeral 2.3, se generaron los resultados acerca de los impactos que los cambios en el uso del suelo y la cobertura produjeron sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica ofertados por las dos unidades hidrográficas de estudio. Como se mencionó en la metodología, a partir del procesamiento de los registros monitoreados, se generaron las CDC y posteriormente se estimaron los indicadores hidrológicos que permitieron el análisis. Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados enunciados se presentan en la Figura 7 y la Tabla 4.

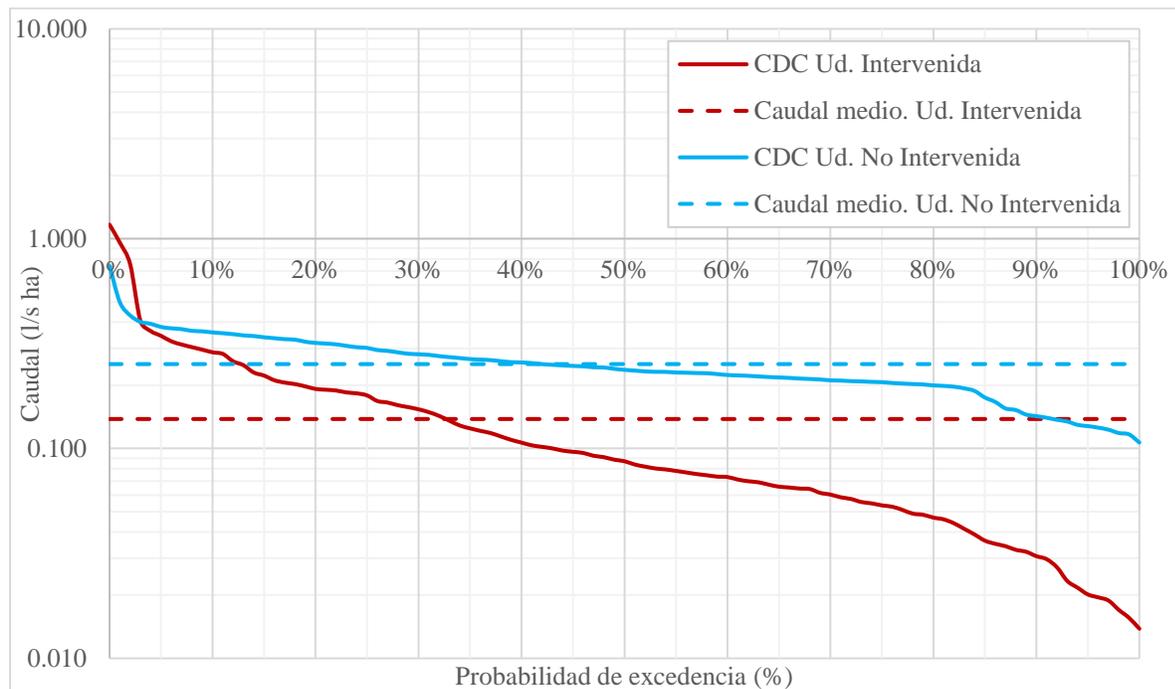


Figura 7. Curvas de Duración de Caudales (CDC) de las dos unidades hidrográficas.

Tabla 4. Resultados de los indicadores hidrológicos para las dos unidades hidrográficas.

Servicio	Indicador	Unidad	Identificador	Ud. Intervenido	Ud. No Intervenido
Abastecimiento hídrico	Caudal del nonagésimo percentil	l/(s * ha)	Q10	0.287	0.358
	Caudal del quincuagésimo percentil	l/(s * ha)	Q50	0.087	0.237
	Caudal del décimo percentil	l/(s * ha)	Q90	0.031	0.143
Regulación hídrica	Índice de regulación hidrológica	-	IRH	0.633	0.870
	Pendiente de la curva de duración de caudales	l/(s * ha)	R2FDC	-0.203	-0.169

Los resultados de las curvas presentadas en la Figura 7, evidenciaron que a pesar que la Unidad Intervenido posee un área mayor que la Unidad No Intervenido (en 7.781 ha), la CDC de la Unidad Intervenido en la mayoría de los porcentajes de excedencia está por debajo de la CDC de la Unidad No Intervenido. Este desplazamiento en la curva, evidencia una pérdida en el servicio de suministro hídrico en la unidad sometida a intervención, pues de manera general, la probabilidad de excedencia para un mismo valor de caudal, es mucho mayor en la Unidad No Intervenido.

Ahora bien, la Figura 7 también muestra que la diferencia entre las curvas se hace mucho más notoria en los caudales más bajos que en los caudales más altos, lo cual, indica que para los caudales bajos la pérdida en el servicio de abastecimiento es más crítica. La premisa anterior puede ser confirmada por los resultados de los indicadores Q10, Q50 y Q90 (Tabla 4), debido a que estos presentaron valores mayores en factores de 1.2, 2.7 y 4.6, respectivamente, para la Unidad No Intervenido.

Con respecto al servicio de regulación hídrica, se puede apreciar que la CDC de la Unidad Intervenido presentó una mayor inclinación que la CDC de la Unidad No Intervenido (Figura 7). La anterior observación también se confirmó en el resultado del indicador R2FDC, que resultó ser 1.2 veces más grande en la Unidad Intervenido (Tabla 4). Este comportamiento es un indicador que sugiere una pérdida en la capacidad de regulación en la unidad sometida a intervención, puesto que el hecho de que su curva esté más inclinada, indica que sus valores de caudal son más cambiantes en el tiempo.

En cambio, en la Unidad No Intervenida, al poseer una curva más horizontal, indica que sus caudales son más estables en el tiempo.

Con respecto al IRH, este indicador también evidenció la pérdida en la capacidad de regulación de los flujos por parte de la Unidad Intervenida; sin embargo, en este caso la pérdida no fue tan notoria como en el servicio de abastecimiento, puesto que el IRH resultó ser 1.4 veces más grande en la Unidad No Intervenida que en la Unidad Intervenida. De igual manera, según la clasificación estipulada en un estudio llevado a cabo por el IDEAM (2019), la Unidad No Intervenida se clasificó en la categoría de regulación muy alta, mientras que la Unidad Intervenida se clasificó en la categoría de regulación baja.

En síntesis, los resultados estipulados en la Figura 7 y la Tabla 4, evidenciaron que la Unidad Intervenida sí presenta pérdidas en la capacidad de provisión de los servicios de abastecimiento y regulación hídrica, siendo estas alteraciones más notorias en el servicio de abastecimiento que en el de regulación. Teniendo en cuenta que las dos unidades son similares en todos los aspectos, excepto en el uso del suelo y sus coberturas, se puede afirmar que la razón por la cual se presentan las alteraciones en los servicios, radica principalmente en las actividades relacionadas con la presencia de cultivos y las extracciones hídricas.

4. Conclusiones

En esta investigación, se abordó el análisis de los impactos a los servicios de abastecimiento y regulación hídrica, causados por alteraciones en el uso y la cobertura de los suelos de pequeñas unidades hidrográficas de páramo. El procedimiento se llevó a cabo mediante la aplicación de una revisión sistemática de literatura, el análisis de la Curva de Duración de Caudales (CDC) y el uso de cinco indicadores hidrológicos.

La revisión sistemática permitió identificar un grupo de cinco enfoques metodológicos, a través de los cuales, se pueden estudiar los efectos de las alteraciones en los territorios sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica. La revisión también permitió evidenciar la presencia de investigaciones interdisciplinarias que utilizaron metodologías basadas en el uso de varios de estos enfoques. Sin embargo, a pesar de que cada enfoque presenta sus diferentes ventajas y desventajas, en la revisión se identificó que el enfoque de cuencas experimentales basado en el método de cuencas pareadas y la aplicación de indicadores hidrológicos de la CDC, hace parte de uno de los enfoques metodológicos más aplicados debido a que permite abordar el problema directamente y generar insumos prioritarios para la gestión de los territorios.

En relación con el estado de los servicios de abastecimiento y regulación hídrica en las dos unidades hidrográficas, el análisis de la CDC y sus indicadores, evidenciaron que las actividades relacionadas con el establecimiento de cultivos y la presencia de

extracciones, disminuyen la capacidad de las unidades hidrográficas de páramo para suministrar los servicios de abastecimiento y regulación hídrica.

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander (UIS), por el financiamiento de este estudio a través del Programa de Investigación Santander Científico (subvención 2438). Al Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH), por todo el soporte proporcionado en las actividades de investigación. A los habitantes de la zona de estudio, quienes generosamente permitieron y apoyaron de manera desinteresada la ejecución del proyecto.

Referencias

- Agarwala, M., Atkinson, G., Fry, B., Homewood, K., Mourato, S., Rowcliffe, Jm., Wallace, G., & Milner-Gulland, E. (2014). Assessing the Relationship Between Human Well-being and Ecosystem Services: A Review of Frameworks. *Conservation and Society*, 12(4), 437. <https://doi.org/10.4103/0972-4923.155592>
- Best, A., Zhang, L., McMahon, T., Western, A., & Vertessy, R. (2003). *A critical review of paired catchment studies with reference to seasonal flows and climatic variability*. Murray-Darling Basin Commission. <https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=procite:fcdfd12f-dca1-41c0-85ce-d06d0c542e7c&dsid=DS1>
- Brown, A. E., Zhang, L., McMahon, T. A., Western, A. W., & Vertessy, R. A. (2005). A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, 310(1–4), 28–61. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.12.010>
- Buytaert, W., De Bièvre, B., Wyseure, G., & Deckers, J. (2004). The use of the linear reservoir concept to quantify the impact of changes in land use on the hydrology of catchments in the Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(1), 108–114. <https://doi.org/10.5194/hess-8-108-2004>
- Buytaert, W., Iñiguez, V., & De Bièvre, B. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251(1–2), 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.035>
- Cabrera, M., & Ramírez, W. (2014). *Restauración ecológica de los páramos de Colombia: transformación y herramientas para su conservación* (1st ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://www.humboldt.org.co/es/estado-de-los-recursos-naturales/item/562-restauracion-paramos>

- Cárdenas, M., & Tobón, C. (2017). Recuperación del funcionamiento hidrológico de ecosistemas de páramo en Colombia. *Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 403–412. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.381>
- Caro-Caro, C., & Torres-Mora, M. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Orinoquia*, 19(2), 237. <https://doi.org/10.22579/20112629.338>
- CDMB, & CORPONOR. (2008). *Plan Integral de Manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales "Páramo de Berlín"* (p. 101). Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). https://corponor.gov.co/areasnaturalesestrategicas/descargas/DMI_Berlin_PMA_aprobado_agosto2008.pdf
- CONDESAN. (2013). *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos* (F. Cuesta, J. Sevink, L. Llambí, B. De Bièvre, & J. Posner (eds.)). Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN). https://ibed.uva.nl/binaries/content/assets/subsites/institute-for-biodiversity-and-ecosystem-dynamics/map-1/fnwi_ibed_ppabook.pdf
- Daza, M., Hernández, 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/10.15446/rfnam.v67n1.42642>
- Díaz, J., Varela, J., Ordóñez, W., Solanilla, M., & Bahamón, Á. (2020). Agricultura en páramos: entre la conservación y los derechos de las comunidades. *Políticas Públicas*, 52, 32. <https://foronacionalambiental.org.co/publicaciones/detalle/documento-de-politicas-publicas-no52-agricultura-en-paramos-entre-la-conservacion-y-los-derechos-de-las-comunidades/>
- Duarte-Abadía, B., & Boelens, R. (2016). Disputes over territorial boundaries and diverging valuation languages: the Santurban hydrosocial highlands territory in Colombia. *Water International*, 41(1), 15–36. <https://doi.org/10.1080/02508060.2016.1117271>
- Espinosa, J., & Rivera, D. (2016). Variations in water resources availability at the Ecuadorian páramo due to land-use changes. *Environmental Earth Sciences*, 75(16), 1173. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5962-1>
- Hanley, T., & Cutts, L. (2013). What is a systematic review? *Counselling Psychology Review*, 28(4), 3–6. [https://www.research.manchester.ac.uk/portal/en/publications/what-is-a-systematic-review\(ec60903a-ac4d-4638-a789-93ee215b8905\)/export.html](https://www.research.manchester.ac.uk/portal/en/publications/what-is-a-systematic-review(ec60903a-ac4d-4638-a789-93ee215b8905)/export.html)
- Harris, J., Quatman, C., Manning, M., Siston, R., & Flanigan, D. (2014). How to Write a Systematic Review. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(11), 2761–2768.



29, 30 de septiembre y
1 de octubre de 2021
**AGUA - BUENA
Cena de Convenciones**

**64° Congreso
Internacional**

Agua, Saneamiento, Ambiente
y Energías Renovables



- <https://doi.org/10.1177/0363546513497567>
Hofstede, R. (1995). The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian páramo grasslands. *Plant and Soil*, 173(1), 111–132. <https://doi.org/10.1007/BF00155524>
- IAvH. (2016). *Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://www.humboldt.org.co/es/estado-de-los-recursos-naturales/item/898-bio2015>
- IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). <https://cta.org.co/descargables-biblionet/agua-y-medio-ambiente/Estudio-Nacional-del-Agua-2018.pdf?>
- Lazo, P., Mosquera, G., McDonnell, J., & Crespo, P. (2019). The role of vegetation, soils, and precipitation on water storage and hydrological services in Andean Páramo catchments. *Journal of Hydrology*, 572(March), 805–819. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.050>
- Llambí, L., Soto, A., Célleri, R., De Bievre, B., Ochoa-Tocachi, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Proyecto Páramo Andino.
- Mace, G. (2014). Whose conservation? *Science*, 345(6204), 1558–1560. <https://doi.org/10.1126/science.1254704>
- MinAgricultura. (2017a). Cebolla de rama. In *Evaluaciones Agropecuarias Municipales* (p. 4). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.agronet.gov.co/Documents/15-CEBOLLA_DE_RAMA_2017.pdf
- MinAgricultura. (2017b). Papa. In *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural* (p. 4). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.agronet.gov.co/Documents/5-PAPA_2017_2017.pdf
- Montenegro-Díaz, P., Ochoa-Sánchez, A., & Célleri, R. (2019). Impact of tussock grasses removal on soil water content dynamics of a tropical mountain hillslope. *Ecohydrology*, 12(8), 1–12. <https://doi.org/10.1002/eco.2146>
- Nieto, M., Cardona, L., & Agudelo, C. (2015). Análisis de servicios ecosistémicos. Provisión y regulación hídrica. In P. Ungar (Ed.), *Hojas de ruta. Guías para el estudio socioecológico de la alta montaña en Colombia*. (p. 96). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Ochoa-Tocachi, B., Buytaert, W., & De Bièvre, B. (2016). Regionalization of land-use impacts on streamflow using a network of paired catchments. *Water Resources Research*, 52(9), 6710–6729. <https://doi.org/10.1002/2016WR018596>
- Ochoa-Tocachi, B., Buytaert, W., & De Bièvre, B. (2018). Participatory Monitoring of the Impact of Watershed Interventions in the Tropical Andes. In *Andean Hydrology* (1st ed., pp. 127–163). <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315155982-6/participatory-monitoring-impact-watershed-interventions-tropical-andes-boris-ochoa-tocachi-wouter-buytaert-bert-de-bievre>
- Ochoa-Tocachi, B., Buytaert, W., De Bièvre, B., Célleri, R., Crespo, P., Villacís, M., Llerena, C., Acosta, L., Villazón, M., Gualpa, M., Gil-Ríos, J., Fuentes, P., Olaya, D., Viñas, P., Rojas, G., & 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>

- OMM. (2012). *Glosario hidrológico internacional*. Organización Meteorológica Mundial (OMM).
http://www.wmo.int/pages/prog/hwarp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf
- ONU. (2017). *Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (p. 24). Organización de las Naciones Unidas (ONU).
[https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global Indicator Framework after 2020 review_Spa.pdf](https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global_Indicator_Framework_after_2020_review_Spa.pdf)
- Pati, D., & Lorusso, L. (2018). How to Write a Systematic Review of the Literature. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 11(1), 15–30.
<https://doi.org/10.1177/1937586717747384>
- Piper, R. (2013). *How to write a systematic literature review: a guide for medical students* (pp. 1–8). National AMR - Fostering Medical Research.
<http://sites.cardiff.ac.uk/curesmed/files/2014/10/NSAMR-Systematic-Review.pdf>
- Price, M. (1998). Las montañas: ecosistemas de importancia mundial. *Unasylva*, 49(195), 1–11. [http://www.fao.org/docrep/w9300s/w9300s03.htm#las montañas: ecosistemas de importancia mundial](http://www.fao.org/docrep/w9300s/w9300s03.htm#las_montañas_ecosistemas_de_importancia_mundial)
- Sudheesh, K., Duggappa, D., & Nethra, S. (2016). How to write a research proposal? *Indian Journal of Anaesthesia*, 60(9), 631. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.190617>
- Thompson, J., Zurita-Arthos, L., Müller, F., Chimbolema, S., & Suárez, E. (2021). Land use change in the Ecuadorian páramo: The impact of expanding agriculture on soil carbon storage. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 53(1), 48–59.
<https://doi.org/10.1080/15230430.2021.1873055>
- Toebes, C., & Ouryvaev, V. (1970). *Las cuencas representativas y experimentales: guía internacional de prácticas en materia de investigación*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- Torres, J., Frías, C., & De la Torre, C. (2014). *Adaptación al cambio climático en zonas de montaña* (1st ed.). Soluciones Prácticas. <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/346530/>
- Vásquez, A., & Buitrago, A. (2011). *El gran libro de los páramos* (1st ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Proyecto Páramo Andino.
- Wehrli, A. (2014). Why Mountains Matter for Sustainable Development. *Mountain Research and Development*, 34(4), 405–409. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00096.1>

Importancia de la implementación de negocios verdes orientados a la agricultura en Colombia en el marco del Plan Nacional de Negocios Verdes.

Laura Ximena Palacios ¹, Mabel Lorena Raba ^{2*}, Beatriz Elena. Ortiz ³

¹ Universidad de La Salle

² Institución del autor 1

³ Institución del autor 1

*Autor correspondiente: Bogotá D.C, Universidad de La Salle, Cra 99 Bis, # 14 a 61 – Zona Franca, Bogotá, Bogotá D.C.+57. Colombia. Email: mraba90@unisalle.edu.co

Abstract

Agriculture in Colombia is one of the economic sectors with the greatest potential in the country, under which it is susceptible to the implementation of good environmental practices, aimed at the management and sustainable use of resources, because of this, over the years have been implementing various environmental policies aimed at the transformation and protection of productive sectors, so far the national green business plan has been implemented, which establishes the classification and criteria for establishing such businesses, this plan constitutes a strategy that orients practices towards sustainability, through the transformation of production processes, on the other hand the promotion of these actions through the use of tools such as ecological seals and sustainability fairs. Some green business references cited in the development of the document are certified and endorsed as established in the PNV by the MADS, finally the regulatory structure necessary to support the implementation of green businesses is evident. The project to be carried out is based on the ideal of transforming cocoa crops from the Utopia campus of the University of La Salle into a possible green business, complying with Colombian regulations, for academic, environmental, social and economic purposes.

Key words

Cocoa, farming, green business, sustainability, sustainable development.

Importancia de la implementación de negocios verdes orientados a la agricultura en Colombia en el marco del Plan Nacional de Negocios Verdes.

Resumen

La agricultura en Colombia es uno de los sectores económicos con mayor potencial en el país, en virtud de lo cual este es susceptible a la implementación de buenas prácticas ambientales, dirigidas al manejo y uso sostenible de los recursos, debido a esto, a lo largo de los años se han venido implementando diversas políticas ambientales encaminadas a la transformación y protección de los sectores productivos, por ende hasta el momento se ha implementado el plan nacional de negocios verdes, en el que se establece la clasificación y criterios para constituir tales negocios, este plan constituye una estrategia que orienta prácticas hacia la sostenibilidad, a través de la transformación de procesos productivos, por otra parte la promoción de estas acciones por medio del uso de herramientas como sellos ecológicos y ferias de sostenibilidad. Algunos referentes de negocios verdes citados en el desarrollo del documento se encuentran certificados y avalados según lo establecido en el PNNV por el MADS. El proyecto a realizar se fundamenta en el ideal de transformar cultivos de cacao del campus de utopía de la Universidad de la Salle en un posible negocio verde, cumpliendo lo establecido en la normativa colombiana, para fines académicos, ambientales, sociales y económicos.

Palabras clave: Agricultura, cacao, desarrollo sostenible, negocios verdes, sostenibilidad.

Introducción

La economía actual ha generado el agotamiento de los recursos naturales y en general degradación ambiental, lo que conduce a una pérdida de bienestar, ya que el crecimiento económico causa el agotamiento de los recursos, este no es viable. Por lo que la sostenibilidad se convierte en el enlace entre el crecimiento económico y la conservación de los ecosistemas, es decir que el concepto de sostenibilidad es “La posibilidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras”(Informe Brundtland, 1987), para garantizar que las generaciones futuras puedan tener provecho de los recursos, se encuentra la necesidad de usarlos de manera eficiente, para lograr esto se requiere apoyo y articulación de todos los sectores anivel nacional y regional, destacando que el sector agropecuario tiene una gran influencia en la conservación en la base de los recursos naturales.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible que se esperan alcanzar actualmente de modo nacional e internacional es lograr mitigar impactos ambientales negativos que se dan debido al crecimiento poblacional que a su vez lleva al agotamiento de recursos naturales y contaminación ambiental. Es decir que, a grandes escalas, las economías globales verdes basadas en negocios verdes, será la piedra angular en todos los países, empresas y comunidades, que intentan hacer frente a los múltiples desafíos, (Steiner, 2010, p. 5).

Colombia, es un país que posee alta diversidad en fauna y flora, lo cual genera un mayor llamado al cuidado de esta riqueza. La mejor manera para prevenir y mitigar impactos negativos ambientales es logrando que cada vez se unan grandes industrias al proceso de buenas prácticas ambientales, con esto los diferentes procesos productivos y económicos reducirán estos impactos negativos que puedan llegar a tener, aportando al mundo y a la sociedad efectos positivos que repercuten ahora y a futuro. Por lo que además de la implementación de políticas, para lograr cambios notables se requiere la integración de actores sociales, pequeños emprendimientos y/o proyectos como Utopía, que logran generar grandes alcances y aportes, por lo cual el apoyo investigativo y educativo son pilares fundamentales en el avance y objetivo de un mundo e industria sostenible.

El objetivo principal del proyecto en ejecución es proponer un modelo de negocio verde a partir del cultivo de cacao del campus Utopía de la Universidad de La Salle, esto a través de 3 los siguientes tres objetivos específicos, determinar cuáles son los requisitos técnico legales y criterios aplicados a negocios verdes en Colombia y la influencia de estos en la conformación de la idea de negocio; Analizar la información recopilada de negocios verdes referentes al cultivo del cacao, relacionándola con las generalidades del mismo en la sede de Utopía de la Universidad de La Salle y finalmente, identificar la viabilidad técnica y legal de la implementación de un negocio verde a partir del cultivo de cacao en la sede de utopía de la Universidad de la Salle.

Material y metodología

Este proyecto se fundamenta en 3 fases principalmente, que se realizarán consecutivamente para así poder tener un proceso eficiente en el desarrollo de este. Iniciando por la vinculación con la sede Utopía para así poder obtener diferentes bases de datos acerca de los procesos productivos que se dan allí.

Fase 1

En la fase 1, se busca dar cumplimiento al primer objetivo específico del proyecto, por lo que se lleva a cabo una búsqueda que permita establecer los requisitos para la implementación de negocios verdes en Colombia, tanto a nivel técnico como legal, lo que permitirá dar una perspectiva respecto a las generalidades de los negocios verdes y su

posterior enfoque al cultivo de cacao en la Sede Utopía, haciendo uso de una metodología mixta, es decir se contemplan aspectos tanto cuantitativos como cualitativos, dentro del desarrollo de esta fase se hará uso de herramientas para la búsqueda y recolección de información como lo son las bases de datos, adicionalmente se organizará la información recopilada en el programa Excel y se redactará un documento a modo de resumen de los aspectos más importantes en el programa Word, obteniendo así el producto final de esta fase.

Fase 2

Durante la fase 2 del proyecto se busca dar cumplimiento al segundo objetivo específico del mismo, haciendo uso de dos subfases, una de ellas enfocada a los negocios verdes propiamente del cacao y otra a las generalidades del campus de Utopía por medio de la indagación teórica y bibliográfica acerca de negocios verdes, para así establecer los requerimientos, características y demás factores que establezca la incorporación de un producto a un negocio verde, teniendo en cuenta el estado de cumplimiento a la normativa ambiental de los procesos productivos desarrollados en Utopía, para lo cual se implementa una metodología mixta, similar a la desarrollada en la fase 1, como insumos para la obtención de información, en esta fase contamos con bases de datos y la información que pueda ser suministrada por los docentes y/o encargados de la Sede Utopía, la cual será organizada y presentada en los mismos programas utilizados en la fase 1.

Fase 3

En la última fase de la metodología se busca dar cumplimiento al tercer objetivo del proyecto, logrando así cumplir también el objetivo general planteado, por lo que se realiza una propuesta de negocios verdes enfocada al manejo del cultivo de cacao ajustada a las necesidades de la Sede Utopía, respecto a la investigación realizada en las fases anteriores, por lo que en esta fase se hace uso de una metodología cualitativa, identificando las posibles ideas de negocio verde más aplicable a las necesidades de Utopía o en su defecto de insumos que encaminan a generar dicho negocio, lo que quedará materializado en un documento.

Resultados y discusión

En Colombia se estructura la política Nacional de Negocios Verdes, luego de dar inicio en el año 1997 con la Política de Producción Más Limpia, que según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), se entiende por ella, la aplicación continua de una estrategia integrada de prevención ambiental en los procesos, los productos y los servicios, con el objetivo de reducir riesgos para los seres humanos y para el medio ambiente, a fin de incrementar la competitividad de las empresas y garantizar la viabilidad económica, a continuación en el año 2002 con el Plan Estratégico Nacional de Mercados

Verdes, el cual buscaba consolidar la producción de bienes y servicios sostenibles (demanda y oferta empresarial verde y sostenible), este plantea en principio una clasificación de mercados verdes en cuatro categorías: i) mecanismo de desarrollo limpio, ii) aprovechamiento sostenible de recursos naturales que incluye: productos naturales no maderables, agricultura ecológica, biotecnología y productos naturales maderables; iii) eco productos industriales; y iv) servicios ambientales (Ministerio de Ambiente, 2002), adicionalmente para lograr el cumplimiento de los objetivos y metas del plan de desarrollan los siguientes instrumentos, convenios de comercialización, circuitos de comercialización, Bioexpo, ventanillas promotoras de mercados verdes y el Sello Ambiental Colombiano (SAC), siendo este último uno de los primeros sistemas de Eco-etiquetado, que busca dar información verídica sobre los aspectos ambientales de los productos.

Seguido de este plan, en el año 2010, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adopta una nueva política a fin del desarrollo sostenible, la Política de Producción y Consumo Sostenible “Hacia una cultura de consumo sostenible y transformación productiva”, por medio de esta política se busca integrar la producción más limpia con el Plan Nacional de Negocios Verdes mejorando la competitividad empresarial, es a través de esta política que se incluyen a los negocios verdes como una estrategia para la incorporación de productos y servicios sostenibles, generando así una transformación productiva que permita aprovechar las potencialidades de los diferentes sectores, esta estrategia se encuentra dirigida a la transformación o implementación de empresas focalizadas en el consumo y uso eficiente de energía, adaptación al cambio climático, manejo integral de residuos, incorporación de tecnologías más limpias, materiales de construcción sostenibles, uso sostenible de la biodiversidad, biotecnología y agroindustria (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Dentro de la PPyCS se establecen metas que se encuentran alineadas con el Plan Ambiental de la Política Ambiental del país, con el fin de visualizar los cambios en los diferentes patrones de producción y consumo en el país, los programas de negocios verdes ayudan a dar cumplimiento a estas metas mediante acciones estratégicas, como lo es el fortalecimiento de ferias, exposiciones y espacios de intercambio comercial de negocios verdes (Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, 2010).

Respecto a los ODS y la relación con el plan de negocios verdes, se da cumplimiento a los siguientes objetivos: *Trabajo decente y crecimiento económico (8)*, el cual se relaciona de manera directa con los negocios verdes por medio de la meta 8.4, “Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados”, ya que los negocios

verdes se encuentran encaminados al desarrollo de actividades económicas con buenas prácticas ambientales y por lo tanto que generen un impacto positivo, otro ODS relacionado es el número 11 que se refiere a *ciudades y comunidades sostenibles*, teniendo en cuenta que el crecimiento de las ciudades y comunidades se encuentra ligado al crecimiento económico y estos negocios buscan la manera de lograr dicho desarrollo desligando lo del deterioro ambiental, el ODS 12 de *producción y consumo sostenible*, que desde la perspectiva de negocios verdes busca generar formas de producción alternativas para lograr un uso sostenible de los recursos y el capital natural, el ODS 13 “*Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*”, ya que en la meta 13.3 se hace énfasis en la educación y sensibilización respecto al cambio climático y como todos los actores pueden contribuir con mitigarlo, la meta 13.3b, tiene una estrecha relación ya que se centra en la búsqueda de mecanismos para educar respecto al cambio climático a diferentes comunidades en estado de marginación, finalmente el objetivo 15 “*Vida y ecosistemas terrestres*”, se relaciona de manera directa con los negocios verdes, ya que estos buscan el aprovechamiento sostenible de los recursos que proveen los diferentes ecosistemas, generando en ellos el menor impacto posible e incluso uno positivo.

Finalmente se presentan algunos referentes respecto a la consolidación de negocios verdes en Colombia y que se han identificado durante el desarrollo del proyecto, enfocados al manejo de cacao.

Propuesta de negocio verde para la asociación de productores orgánicos del municipio de Dibulla (Caipa M y Charry L., 2020).

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una propuesta de Negocio Verde basado en el cacao para APOMD, por lo cual se tuvo en cuenta factores claves del cultivo tales como el proceso desde la siembra, identificando parámetros fisicoquímicos del suelo y agua. De esta manera obtuvieron la viabilidad que tendría el cultivo para lograr la certificación de un negocio verde, identificaron problemáticas y plantearon estrategias con soluciones ambientales para obtener un negocio verde con mayor viabilidad.

“Nibs de cacao orgánico” para mercados verdes (Gaviria C., & Medina N., 2016)

El proyecto se fundamenta en el sector agroindustrial, específicamente en el cacao y sus condiciones particulares como cultivo, estas son, base de economía campesina en fincas de menos de 10 hectáreas, potencialidad, sostenibilidad ambiental, alternativas para la subsistencia de muchas comunidades, así como la tendencia cada vez más creciente hacia el consumo en el mundo de productos naturales, orgánicos y ambientalmente sostenibles, así mismo como la proyección de nuevas áreas para cultivo definidas en la zona y proyectadas por la Federación para el 2021.

NUNCHUAH SAS. (Nunchuah, 2021)

Empresa familiar comprometida con el cultivo de cacao y transformación del grano en productos de alta calidad, sabor y aroma, manteniendo una propuesta de valor diferenciada, cumpliendo con acciones social y ambientalmente responsables y garantizando un comercio justo en nuestros cultivadores. Esta empresa hace parte de negocios verdes certificados por la corporación autónoma regional *Corporinoquia* de Yopal, Casanare. Cuenta con Reconocimiento de Aval por Corporinoquia 2019 como negocio verde, un premio de responsabilidad social en derechos humanos por Mesa Responsabilidad Social 2019, un reconocimiento por impacto social en Expoagrofuturo 2018, entre otros.

En Colombia el crecimiento económico depende de diferentes sectores, entre los que se encuentra la industria, construcción y agricultura principalmente, según el boletín técnico del DANE, respecto al producto interno bruto durante el primer trimestre del año 2020, se establece que uno de los sectores que tuvo mayor impacto frente al aumento del PIB, fue el agrícola, con un aumento del 6.8% respecto al mismo periodo del año anterior, mientras que sectores como el de construcción presentaron una disminución del 9.2%, mientras que el censo económico de Colombia, publicado por el DANE en enero de 2021, donde se identifica que aunque sectores como el de servicios, industria y comercio tienen una mayor participación respecto al sector agrícola, este último presenta un mayor aporte al crecimiento del PIB, con lo que se da evidencia de la importancia del sector agrícola en el país, razón por la cual la implementación de negocios verdes en este sector es viable, llegando a generar un alto impacto tanto económico como ambiental.

La agricultura ha sido la fuente principal para transformar y desarrollar zonas rurales, debido a que la mayoría de las actividades desarrolladas en estas zonas han llegado a implementarse gracias a la agricultura (Juan José Perfetti, Álvaro Balcázar, Antonio Hernández & José Leibovich, 2013), para las próximas décadas se espera que esta sea una de las actividades con mayor crecimiento económico, por lo que este sector requiere de inversión para lograr transformarse en una actividad sostenible, lo que a su vez genera una contribución al cumplimiento de los ODS, según la FAO, la inversión agrícola contribuye más en la reducción del hambre y la pobreza que cuando esta se realiza en cualquier otro sector (Lombana, 2018).

Conclusiones

1. El sector agrícola tiene una alta influencia dentro del desarrollo e implementación de los negocios verdes en el país, a causa de las potencialidades respecto al uso de los suelos y aprovechamiento de la biodiversidad, por lo que en esta investigación se pretende dirigir el enfoque hacia este sector.

2. Dentro de la implementación de negocios verdes deben tenerse en cuenta las necesidades y características de la zona donde se pretenden desarrollar, ya que estas son un factor que determina la viabilidad del negocio a nivel técnico.
3. En Colombia la implementación de negocios verdes ha tenido un largo recorrido, basado en políticas orientadas a la producción más limpia, la producción y el consumo sostenible y el establecimiento de las propias características de un negocio verde, es decir la identificación del factor diferencial entre los negocios verdes y los que se desarrollan de manera habitual.

Referencias bibliográficas

- Caipa, M y Charry, L. (2020). PROPUESTA DE NEGOCIO VERDE PARA LA ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES ORGÁNICOS DEL MUNICIPIO DE DIBULLA. Obtenido de: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2778&context=in_g_ambiental_sanitaria
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2020). Producto Interno Bruto (PIB). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_ltrim20_produccion_y_gasto.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021). Censo Económico de Colombia. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/censo-economico/documento-conceptual/documentos/censo-economico-plan-general.pdf>
- Gaviria, C. P. H., & MEDINA, N. E. O. (2016). " Nibs de cacao orgánico" para mercados verdes (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Especialización en Procesos Industriales Agroalimentarios). Obtenido de: <https://core.ac.uk/download/pdf/84108685.pdf>

Lombana, M. E. (2018). Innovación de marketing para el sector agrícola en Colombia.

<http://revistas.sena.edu.co/index.php/RETO/article/view/1935/2047>

Ministerio del Medio Ambiente (2002). Plan Estratégico Nacional de Mercados Verdes.

Ministerio de Ambiente. (2014). Programa Regional de Negocios Verdes Región Caribe.

Obtenido de
www.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesysostenibles/pdf/programas_negocios_verdes/ProgramaRegionalNegociosVerdes.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 2820. Obtenido de:

https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_2820_2010.pdf

Nunchuah. (2021). Obtenido de: <https://nunchuah.com/>

Perfetti, J. F., Balcázar, Á., Hernández, A., & Leibovich, J. (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia.

https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/61/LIB_2013_Pol%c3%adticas%20para%20el%20desarrollo%20de%20la%20agricultura_Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Steiner, A. (2010). Nuestro Planeta - Economía verde. Nuestro Planeta, la revista del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Estados Unidos. Obtenido de:

<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7814/OP-2010-02-SP-FULLVERSION.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

Perfil fisicoquímico, bacteriológico y parasitológico del agua de riego para cultivos de hortalizas en la Sabana de Bogotá

G. Sánchez¹, L.E. Chandillo^{1*}, C. Ortiz², C. Sánchez³, A. Oviedo¹, M.C. Bustos-López^{*5}, M.C. Echeverry², M.C. López², N.A. Mancipe-Muñoz⁵

¹Programa de Bacteriología y Laboratorio Clínico. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

²Departamento de Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia

³Maestría en Ciencias – Microbiología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.

⁴Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.

⁵Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.

**Autor corresponsal: Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C., Ciudad Universitaria, edificio 406 - IEI - Instituto de extensión e investigación, piso 2, salón 228. Código Postal: 111321. Colombia. Email: mcbustosl@unal.edu.co*

Abstract

Domestic and industrial wastewater discharged into canals is often used for crop irrigation by many farmers in both urban and peri-urban areas around the world. Between 8% to 10% of domestic wastewater is treated in Colombia. However, the interest in reusing these waters for agricultural production lies in avoiding additional fertilizers and / or chemical products given the high content in nutrients of these waters. The objective of this research is to evaluate physicochemical, bacteriological and parasitological parameters in 96 water samples used for irrigation of vegetable crops from the "La Ramada irrigation district" fed by water from the Bogotá river and covering several municipalities in Cundinamarca. The influence area of these irrigation canals has presented significant land use changes given that agricultural areas have been gradually replaced by industrial parks and peri-urban centers. The irrigation district's water quality has been deteriorating over the years imposing a health problem for humans, animals and the environmental. This study shows that the use of these polluted waters for agricultural activities may represent a public health risk.

KeyWords: wastewater reuse, water quality, irrigation water, helminths, coliforms.

PERFIL FISICOQUÍMICO, BACTERIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO DEL AGUA DE RIEGO PARA CULTIVOS DE HORTALIZAS EN LA SABANA DE BOGOTÁ

Resumen

La descarga de aguas residuales domésticas e industriales sobre canales empleados para la irrigación de cultivos es una práctica que muchos agricultores tanto de áreas urbanas como periurbanas ejercen en muchas partes del mundo. Se ha documentado que en Colombia, solamente entre el 8% al 10% de las aguas residuales domésticas son tratadas. Sin embargo, el reúso de estas aguas para la producción agrícola resulta ser de gran interés, debido a que, los agricultores obtienen los nutrientes necesarios para el desarrollo de sus cultivos, evitando en su gran mayoría el uso de fertilizantes y/o productos químicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar algunos parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y parasitológicos en 96 muestras de agua empleadas para riego de cultivos de hortalizas, provenientes del antiguo “distrito de riego de La Ramada”, el cual cubre varios municipios de Cundinamarca, y es alimentado por agua proveniente del río Bogotá. La zona de influencia de estos canales de riego, en los últimos años, ha sufrido una serie de cambios en cuanto al uso del suelo, ya que las zonas agrícolas han sido sustituidas paulatinamente, deteriorando la calidad del agua del distrito, tal y como se ha podido observar en este estudio, evidenciando las descargas de aguas residuales domésticas y/o industriales en los canales de riego, y el uso de esta agua para riego representa un riesgo para la salud pública.

Palabras clave: reúso del agua, calidad, agua de riego, helmintos, coliformes.

Introducción

El reúso de las aguas residuales es considerado una fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso hídrico en usos agrícolas con algunos beneficios tales como: bajos costos de uso, disminución del impacto ambiental y provisión de abonos naturales. Es así, como este tipo de agua se ha utilizado en la agricultura para la irrigación de cultivos que comprenden árboles, forraje, frutas y verduras. Sin embargo, este uso está limitado por la presencia de contaminantes emergentes y microorganismos patógenos de origen fecal, como bacterias, protozoarios y helmintos, representando un alto riesgo en la salud de los trabajadores agrícolas, los animales que puedan llegar a tener contacto con estas aguas y finalmente para los consumidores de los productos que han sido irrigados con estas.

Materiales y métodos

Se tomaron 96 muestras de agua puntuales, durante los meses de junio a noviembre de 2019, procedentes de 6 puntos seleccionados a lo largo del distrito de riego debido a su ubicación estratégica (ver Figura No. 1). Los muestreos consideraron temporadas secas y de lluvias. Los 6 puntos se clasificaron en dos zonas de acuerdo a las siguientes características (ver Figura No. 2): zona con actividades agrícolas (puntos 1, 2 y 3) y zona de actividades mixtas (urbanas, industrial y agrícola) (puntos 4, 5 y 6). Con respecto a los análisis físico-químicos se midieron parámetros como pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura, oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales (SST) y algunos metales (Zn, Hg, Ni, Cu, entre otros). Para evaluar la calidad microbiológica de estos puntos, se realizó el conteo de los parámetros microbiológicos para Coliformes Totales y *Escherichia coli*, utilizando el método de NMP/100mL, de acuerdo a la normativa colombiana vigente (Decreto 1594 de 1984) y UFC/100mL para el posterior aislamiento de las colonias. El método Bailenger Modificado, recomendado por la organización Mundial de la Salud (OMS) para la evaluación de este tipo matrices, fue empleado para la detección y cuantificación de huevos de helmintos.

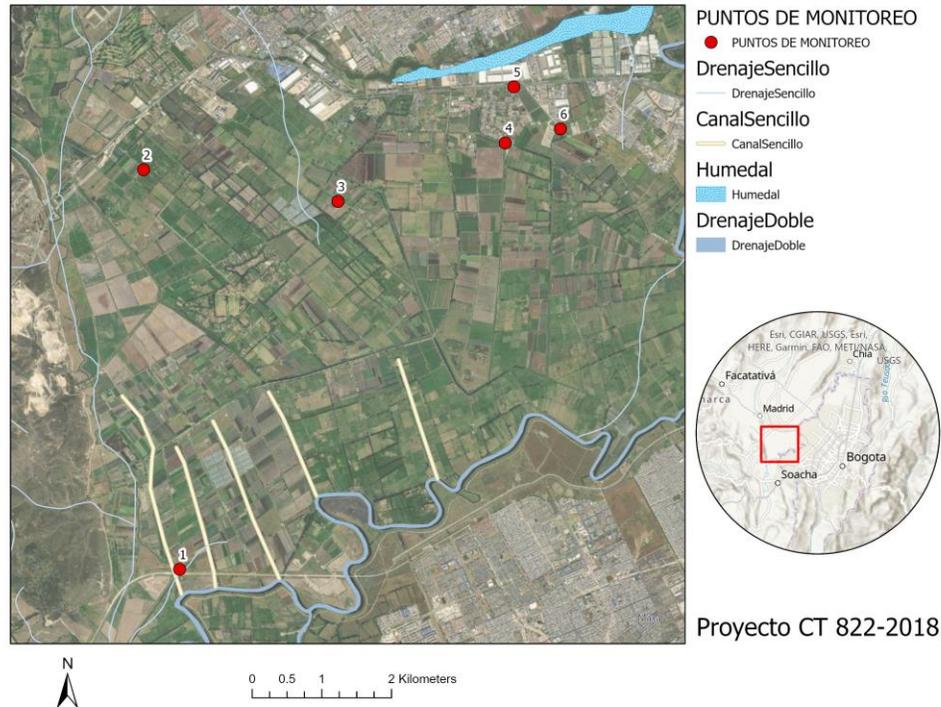


Figura 1. Sitios de muestreo evaluados en el sistema de riego La Ramada



Figura 2. Fotografías de sitios de muestreo evaluados

Resultados

Los resultados fisicoquímicos variaron según el área de influencia y época climática (ver tabla 1):

Tabla 1. Resumen resultados físico-químicos

Parámetro	Unidad	Zona Agrícola	Zona Mixta
CE	μS/cm	590 – 910	586 – 2620
DBO ₅	mg/L O ₂	3 – 159	18 – 2250
DQO	mg/L O ₂	40 – 282	29 – 3150
SST	mg/L	14 - 165	5 - 1880
OD	mg/L	<2	<2
pH	Unidades	4.5- 9	4.5- 9

Todas las muestras presentaron altos contenidos de nitrógeno (>1,5mg/L) y fósforo total (>0,075 mg/L).

En cuanto a los resultados bacteriológicos, en la zona agrícola se encontraron en un rango de 2.3×10^2 a 5.4×10^5 NMP/100mL para Coliformes Totales, y para *Escherichia coli* se obtuvieron rangos de 1.8 a 3.5×10^5 NMP/100mL, mientras que en la zona mixta los resultados fueron de 1.1×10^3 a 5.4×10^8 NMP/100mL para Coliformes Totales, y para *Escherichia coli* se obtuvieron rangos de 3.3 a 2.2×10^8 NMP/100mL, los cuales se encuentran por fuera de la normatividad colombiana (Decreto 1594 del 1984). También se detectó la presencia de huevos de *Ascaris* sp 11/42 (26.19%) y *Ancilostomídeos* 13/42 (30.9%), con un promedio de 1.12 y 0.68 huevos por litro (h/L), respectivamente. Seguido por *Hymenolepis* 3/42 (7.14 %) con un promedio de 0.24 h/L, *Trichuris* spp 1/42 (2.38 %) con un promedio de 0.23 h/L, y *Capillaria* spp 1/42 (2.38 %) con un promedio de 0.79 h/L, encontrando mayor presencia de estos helmintos en las muestras provenientes de la zona mixta.

Discusión

De acuerdo a los datos presentados en la tabla 1, se observa alta variabilidad en los resultados para las dos zonas analizadas en los diferentes parámetros fisicoquímicos evaluados. Principalmente una CE mayor a $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ (valor típico en Agua residual doméstica - ARD) conducen a pensar que en ambas zonas pueden existir descargas de aguas residuales domésticas y/o industriales sin ningún tipo de tratamiento, con mayor prevalencia en la zona mixta. Sin embargo, altos valores de CE en la zona agrícola podrían dar a entender que los canales de los puntos 1, 2 y 3 también son objeto de contaminación por fuentes de ARD. La baja concentración de OD indica que las fuentes hídricas superficiales analizadas en este estudio continuamente se encuentran en fase de anaerobiosis, dadas las altas cargas orgánicas presentes que en su gran mayoría son biodegradables dado que la relación DQO/DBO₅ siempre es menor que 3. Así mismo, los valores mayores a $250 \text{ mg}/\text{L}$ en SST (valor típico para ARD) en la zona mixta soportan la hipótesis de contaminación directa por industrias en los puntos 4, 5 y 6. Finalmente, los valores encontrados para nitrógeno y fósforo indicarían la presencia de procesos de eutrofización en los canales de riego.

Algunos de estos parámetros superan los valores máximos reportados en estudios realizados previamente por otros investigadores en esta área de estudio (Calle, 2005; Arguello y Bustos 2018 y Cubides 2018), lo que puede indicar que los canales de riego de la Ramada continúan recibiendo descargas de aguas residuales domésticas e industriales, datos que concuerdan con lo publicado por Torres (2004). Conforme a los resultados emitidos en los estudios bacteriológicos, los altos conteos de bacterias indicadoras como Coliformes Totales y *Escherichia coli*, se pueden deber principalmente a que muchos de los efluentes utilizados para riego agrícola en este sector no reciben ningún tipo de tratamiento, por lo tanto, su presencia advierte la

contaminación con heces en estas fuentes y el aumento de la probabilidad de encontrar microorganismos patógenos en estas aguas. Dentro de la normativa colombiana (Decreto 1594 del 1984) los índices que se establecen para riego en hortalizas de tallo corto no deben exceder 5000 NMP para Coliformes totales, mientras que para *E. coli* no deberá exceder 1000 NMP, teniendo en cuenta lo anterior, los resultados de estos conteos, no se encuentran dentro de los parámetros establecidos en esta normatividad, ya que los recuentos se localizan en el orden de 10^4 NMP/100mL a 10^7 NMP/100mL, siendo los puntos de muestreo cercanos a zonas urbanas (4, 5 y 6) los que presentaron un mayor recuento de estos indicadores.

Las enfermedades causadas por parásitos intestinales presentan elevadas tasas de prevalencia y amplia distribución mundial, principalmente en países con menor desarrollo socioeconómico. Los huevos de helmintos, especialmente, los huevos de *Ascaris* spp, se han considerado como un indicador ideal de la calidad de agua de riego, debido a sus características de resistencia y persistencia en el ambiente. Con lo que respecta a este estudio, se pudo constatar que los puntos de muestreo 1, 3 y 4 fueron los que presentaron mayor prevalencia de estas formas parasitarias, siendo los huevos de *Ascaris* spp y Ancylostomideos los mayormente encontrados, lo cual esta relacionado con lo hallado por Campos et al., en 2018, en la misma área de muestreo, donde encontraron niveles de 0,1 a 3 huevos de helmintos por litro Este hallazgo, lleva a considerar que se debe tener en cuenta el riesgo potencial que representa el uso de estas aguas para la salud pública, ya que alerta sobre la posible presencia de estos huevos de helmintos en los alimentos que han sido regados con estas aguas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos del monitoreo de los 6 puntos en inmediación del distrito de riego de la Ramada indican la posible descarga de aguas residuales domésticas y/o industriales sobre los canales de riego, especialmente en la zona mixta (puntos 4, 5 y 6). En la zona agrícola las descargas de materia orgánica, sólidos, nitrógeno y fósforo podrían corresponder también a cargas de lavado del proceso de siembra, fertilización y fumigación de cultivos en las áreas circundantes más que a descargas de aguas residuales sin tratamiento. Es recomendable considerar el impacto de las descargas difusas sobre los canales de riego en la zona agrícola (puntos 1, 2 y 3). Así mismo, se concluye que el uso de estas aguas para actividades agrícolas pueden representar un riesgo para la salud pública, puesto que contienen altas cargas de coliformes totales y *E. coli*. Por último, fue detectada la presencia de huevos de helmintos en diferentes puntos del distrito de riego, indicando que estas muestras no cumplen con los límites establecidos por la normatividad nacional e internacional.

Financiación y agradecimientos:

Estos resultados se encuentran dentro del proyecto CT 822-2018, financiado mediante la convocatoria 807 de 2018 de MINCIENCIAS.

Referencias Bibliográficas

Argüello, H., & Bustos, M. (2018). *Contamination by Pathogenic Microorganisms in Water used for Agricultural Irrigation on the Sabana de Bogotá, Colombia.*

Calle, L. (2005). Desarrollo de un prototipo para adecuar el agua del distrito de riego La Ramada para la producción limpia de hortalizas. Universidad Nacional de Colombia

Campos, M. C., Beltrán, M., Fuentes, N., & Moreno, G. (2018). Huevos de helmintos como indicadores de contaminación de origen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos. (Spanish). *Biomédica: Revista Del Instituto Nacional de Salud*, 38(1), 42. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3352>

Cubides, P. (2018). Evaluación de un tratamiento para mejorar la calidad del agua utilizada para riego en la Sabana occidental de Cundinamarca. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/70070/2/1018404125.2018.pdf>

Decreto 1594. Ministerio de agricultura. Bogotá, Colombia. 26 de junio de 1984

Hernández, F., Ibáñez, M., Bade, R., Bustos, M. C., Rincón, J., Moncayo, A., Bijlsma, L. (2015). LC-QTOF MS screening of more than 1,000 licit and illicit drugs and their metabolites in wastewater and surface waters from the area of Bogotá, Colombia, (45), 6405–6416. <https://doi.org/10.1007/s00216-015-8796-x>

Torres, L., 2004. Evaluación de la Incidencia del Vertido de Aguas Residuales Urbanas en el Distrito de Riego La Ramada. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

WHO. Integrated Guide to Sanitary Parasitology. Regional Centre for Environmental Health Activities. 2004; 119. ISBN: 92-9021-386-8.

Humedal El Burro, un esclarecedor análisis a través del tiempo

L.A. Mena¹, K.Y Mendoza², V. Pinzón^{3*}

^{1,2,3} Facultad de Ciencias Ambientales, Semillero de investigación Gestión Sostenible de los Recursos Naturales, Universidad Piloto de Colombia.

*Autor de contacto: Calle 6B #80B – 85 (Torre 12 apto 547), Pio XII, Bogotá, Cundinamarca. Código postal: 110821. Colombia. Email: proyectoh.elburro.upc@gmail.com , valeryjaid15@gmail.com

Abstract

This study aims through a multitemporal analysis to establish the changes that the “El Burro Wetland” has undergone. It is located in the city of Bogotá, in the town of Kennedy. Likewise, the different factors that have caused disturbances in this ecosystem are analyzed, because the mentioned study has allowed, showing that among those causing disturbance are the expansion of the urban area, which, as a direct consequence, caused the decrease in the extension of the wetland ecosystem and the fragmentation of it by the construction of roads. In addition to the poor disposal of waste and the erroneous connections present in the wetland, affect the water body, vegetation, also native and migratory fauna species of this. However, based on the ecosystem services provided by this ecosystem, the interactions between the biological community, its whole (ecological niche) and the abiotic components, additionally with the help of a participatory approach with the community and the creation of actions for the environment, it is possible to say that this ecosystem has a long-term resilience.

Keywords: ODS, RAMSAR, Recovery, Water mirror, Wetland.

HUMEDAL EL BURRO, UN ESCLARECEDOR ANÁLISIS A TRAVÉS DEL TIEMPO

Resumen

El presente estudio pretende, por medio de un análisis multitemporal, establecer los cambios que ha sufrido el Humedal el Burro, ubicado en la ciudad de Bogotá, en la localidad de Kennedy. Así mismo, se analizan los distintos factores que han ocasionado perturbaciones en este ecosistema, debido a que este estudio ha permitido evidenciar que entre los causantes de perturbación se encuentran la expansión del casco urbano, el cual como consecuencia directa, ocasionó la disminución en la extensión del ecosistema del humedal y la fragmentación del mismo, por la construcción de vías; en complemento la mala disposición de residuos y las conexiones erradas presentes en el humedal, afectan el cuerpo hídrico, la vegetación y las especies de fauna nativas y migratorias de éste. No obstante, basándose en los servicios ecosistémicos que brinda éste, las interacciones entre la comunidad biológica, su conjunto (nicho ecológico) y los componentes abióticos, con ayuda de un enfoque participativo con la comunidad, igualmente la creación de acciones para el ambiente, es posible decir que este ecosistema tiene una capacidad de recuperación a largo plazo.

Palabras Clave: Espejo de agua, Humedal, ODS, Ramsar, Recuperación

Introducción

En el Distrito Capital de Colombia, existen 15 humedales, de los cuales únicamente 11 de ellos han sido reconocidos bajo el Acuerdo Ramsar, entre estos se encuentra el humedal El Burro. En 1956, dicho humedal contaba con más de 171 hectáreas de extensión, época en la que hacía parte de la extinta laguna de El Tintal. Con la llegada de las urbanizaciones, avenidas, parqueaderos y la disposición de escombros, el ecosistema quedó reducido a 18,8 hectáreas, de las cuales tan solo 0,2 corresponden al espejo de agua.

Con este trabajo, se quiere exponer por medio de un análisis multitemporal, los cambios del ecosistema y del cuerpo de agua del humedal, igualmente se quiere determinar como éste se ha visto afectado por el crecimiento urbanístico de la capital, pues la conservación de este ecosistema resulta importante, ya que los humedales (dentro del casco urbano), no solo son los responsables de purificar y reponer el agua, sino que también controlan las inundaciones, ayudan al control de la erosión, ayudan a la generación de vida silvestre, son áreas de

abastecimiento de agua y fuentes de energía, entre muchas funciones más. En pocas palabras, estos ecosistemas ayudan a las ciudades a ser lugares ecológicamente sostenibles, por tal razón es necesario comprender su dinámica y transformación histórica, para poder entender su comportamiento actual, en consecuencia ayudar a su recuperación y conservación.

Para lograr dicho propósito, es decir, el reconocimiento de las fuentes de contaminación y perturbación del ecosistema a lo largo de la historia, se implementó una metodología de investigación, en donde se adquirieron imágenes e información sobre el humedal de diferentes fuentes digitales y físicas digitalizadas por la Universidad Nacional de Colombia, en su herramienta “**Cartografías de Bogotá**”, la cual es un compendio de planos, dibujos y fotografías aéreas de la ciudad; lo que permitió reconocer como principal perturbación la expansión del casco urbano, partiendo de la construcción y levantamiento de vías que conectan los nuevos barrios con el centro histórico cultural y comercial de la ciudad.

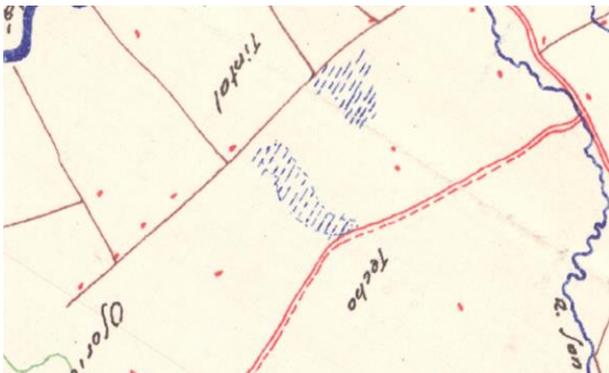


Imagen 1. Hoya del Tunjuelo, 1940.

Fuente: Universidad Nacional de Colombia

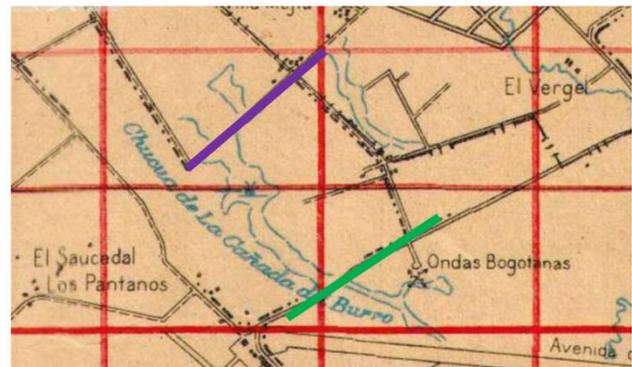


Imagen 2. Planeación Urbanística, 1952.

Fuente: Universidad Nacional de Colombia



Imagen 3. Aerofotografía del humedal El burro, 1967

Fuente: Universidad Nacional de Colombia



Imagen 4. Planeación Urbanística 1980

Fuente: Universidad Nacional de Colombia



Imagen 5. Visualización satelital Humedal el Burro, 2001
Fuente: Repositorio Universidad Santo Tomas.

Imagen 6. Visualización satelital Humedal El Burro, 2021
Fuente: Programa Arc GIS Pro

Desde el año de 1940 se empieza a tener conocimiento y visualización del humedal, por medio de los mapas cartográficos (tanto recreaciones manuales como imágenes aéreas y satelitales). Inicialmente se evidencia que en la denominada “Hoya del Tunjuelo” (imagen 2) correspondiente al mapa de 1952, se puede observar la extensión hídrica del humedal El Burro para este año. Así mismo, se evidencia que ya se contaba con una distribución de vías, las cuales fragmentaron el Humedal del Burro en tres partes: La primera vía, se conoce actualmente como transversal 78 (línea color morado) y la Avenida Ciudad de Cali (línea color verde).

En complemento, es preciso aclarar que, “para las primeras décadas del siglo XX ya no existía la laguna El Tintal, pues había sido desecada y fragmentada, de modo que en este territorio quedaban solo cinco humedales de menores proporciones, conocidos como: Techo, El Burro, La Vaca, Timiza y Tibanica”, donde "Se considera que esta afectación sucedió debido a las acciones humanas en el territorio, asociadas principalmente a las intervenciones que se realizaban en las haciendas para aumentar su productividad agropecuaria y al crecimiento urbano " (Matta, W.X, 2019), por lo cual, se deduce que esta fragmentación se dio por la expansión urbanística de la ciudad, ya que era necesario la construcción de vías que comunicaran los barrios emergentes con el centro de la capital.

Por otro lado, en la imagen 4, se evidencia la planeación de urbanización a la cual se enfrentaría las tres fragmentaciones del humedal, en donde se muestra un acelerado crecimiento en el complejo urbano cercano al humedal, el cual, a través del paso del tiempo, fue aumentando con relación al crecimiento poblacional (tabla 1).

Por lo anterior, con este estudio se evidenció que el Humedal El Burro no solo cuenta con problemáticas desde el punto de vista urbanístico (impactos generados por la actividad urbana que se desarrolla en las zonas adyacentes al humedal), sino que también cuenta con graves problemas hidrológicos, pues el cuerpo de agua ha sido afectado por los vertimientos directos de aguas domésticas, vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos, presencia de materia orgánica flotante en el cuerpo de agua, entre otros; así mismo, las conexiones erradas al sistema pluvial de los conjuntos residenciales aledaños que llevan corrientes de aguas servidas con cargas contaminantes al cuerpo de agua del humedal.

Por otro lado, entrando en materia de interés temático, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) buscan una adopción global de un conjunto de objetivos que tiene como finalidad asegurar para todos una agenda de metas para cumplir, donde cada uno de estos ODS abarca una problemática que afecta al sector económico o una población influyendo en el desarrollo global, desde la pobreza y la protección del planeta, hasta una prosperidad y sostenibilidad para todos. Cada País que adopta dichos objetivos, tienen como prioridad centralizar sus políticas, actividades económicas y su eje social, no sólo al cumplimiento de estos, sino la adaptación y resiliencia frente a un futuro incierto.

Relacionando el análisis multitemporal del humedal con los objetivos de desarrollo sostenible, se puede hacer énfasis dos de estos objetivos: el **ODS 11** “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, pues como ya se mencionó anteriormente, uno de los múltiples beneficios en los que aporta este ecosistema a las ciudades, es su capacidad de purificar y reponer el agua, asimismo, también tiene la facultad de capturar dióxido de carbono y generar oxígeno, pues estos ecosistemas cuentan con vegetación que realizan la purificación del aire.

En complemento, según las naciones unidas: “las ciudades y áreas metropolitanas son centros neurálgicos del crecimiento económico ya que contribuyen al 60 % aproximadamente del PIB mundial. Sin embargo, también representan alrededor del 70 % de las emisiones de carbono mundiales”; asimismo “La rápida urbanización está dando como resultado servicios inadecuados y sobrecargados (como la recogida de residuos y los sistemas de agua y saneamiento, carreteras y transporte), lo cual está empeorando la contaminación del aire.” (ONU, 2015). Por lo cual, la conservación y cuidado de este humedal, ayuda a controlar las distintas perturbaciones urbanísticas hacia el ambiente, convirtiendo a la ciudad en un lugar sostenible y viable para vivir.

En adición, el **ODS 15** “Vida de Ecosistemas Terrestres” también se encuentra acorde con el objetivo de este proyecto, puesto que este busca “proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres... luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de diversidad biológica” (ONU, 2015). Pues este análisis multitemporal, no solo busca exponer los cambios que el Humedal El Burro ha sufrido en su extensión terrestre o la pérdida del espejo de agua, sino que también pretende establecer las fuentes de contaminación y perturbación de este ecosistema; específicamente, se contempla la degradación, pérdida de los componentes abióticos tales como el suelo y el agua, y componentes bióticos como pérdida de especies de flora y fauna; asimismo se considera la pérdida de la capacidad de albergue para las especies migratorias.

Este análisis multitemporal, permitió constatar que la carente planificación respecto a la ampliación urbanística de la zona (incluyendo también la fragmentación del ecosistema para la construcción de vías), sumado a la falta de importancia que se le da al cuidado de estos ecosistemas en las ciudades y la falta de conciencia sociocultural por parte de los habitantes, da como resultado un ecosistema deteriorado, pero con un posible potencial de recuperación.

Esta conclusión parte del reconocimiento de los servicios ecosistémicos planteados desde una visión sistemática, en donde se contempla y se incorpora un reconocimiento de las interacciones entre la comunidad biológica, su conjunto (nicho ecológico) y los componentes abióticos; una valoración de los servicios que éste brinda a una “ciudad ecosistémica” (Camargo, G. 2005), la calidad hidrológica y del suelo, la creación de espacios verdes caracterizados por la fauna y flora nativa, la generación de espacios recreativos para la comunidad, en donde se inculque un enfoque participativo y otros factores, que permitirán un avance a largo plazo, en la recuperación del humedal.

Referencias Bibliográficas

Bernal, C. (2016). Estudio preliminar de la degradación física de tres humedales de la sabana de Bogotá y lineamientos ecológicos y paisajísticos para su gestión. Universidad de los Andes. Recuperado de:
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/9318/u276991.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Camargo, G. (2005). Ciudad Ecosistema Introducción a la Ecología Urbana. Editorial Universidad Piloto de Colombia 1a edición.

Cruz, D. (2016). ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE ÁREA EN LOS HUMEDALES DE BOGOTÁ EN LAS ÚLTIMAS CINCO DÉCADAS DEBIDO A LA CONSTRUCCIÓN Y SUS RESPECTIVOS EFECTOS. Universidad Distrital. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5345/CruzSolanoDianaPaola2017.pdf?sequence=1>

DANE. (2021). Visor de población - Modulo de población. DANE. Recuperado de: <https://sdpbogota.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=2ac7960e89eb44709bc2dcae1eb96fb9>

Matta García, W. X. Ecosistemas de humedal e imaginarios sociales: humedal El Burro y su transformación a partir de la segunda mitad del siglo XX. Recuperado de: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79306/Documento_Ecosistemas%20de%20humedal%20e%20imaginarios%20sociales_WXMG_Repositorio.pdf?sequence=1&isAlloved=y

Puentes, A. (2019). El humedal que casi agoniza bajo las urbanizaciones. El Tiempo. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/bogota/historia-del-humedal-el-burro-en-kennedy-bogota-436578>

Red de desarrollo sostenible. (2012). Crece El Humedal de El Burro; Secretaría Distrital de Ambiente Incorporará 4,75 Hectáreas Más a Este Ecosistema. Recuperado de <https://www.rds.org.co/es/novedades/crece-el-humedal-de-el-burro-secretaria-distrital-de-ambiente-incorporara-4-75-hectareas-mas-a-este-ecosistema>

Sociedad geográfica de Colombia academia de ciencias geográficas. (1938). los alrededores de Bogotá y la hoya del Tunjuelo. Sogeocol. Recuperado de: http://www.sogeocol.edu.co/documentos/005_02_los_alrede_de_bogo_y_la_hoya.pdf

Universidad Nacional. (2021). Cartografía Bogotá. Universidad Nacional. Recuperado de: <http://cartografia.bogotaendocumentos.com/>

La agricultura circular aplicada en el cultivo de cacao como aporte al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Valentina García Nieto^{1*}, Beatriz Elena Ortiz¹

¹Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle

**Autor correspondiente*: 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: vgarcia44@unisalle.edu.co

Abstract

The cocoa crop is important for Colombia, and it is necessary to integrate strategies that allows it to become more sustainable. It has been determined that from cocoa only 10% of the fruit is economically used, which is centered on the beans. Here, circular agriculture appears as a model that aims to offer various solutions to these problems. One of the principles of this model is to be able to give value to the waste generated in the different stages of agriculture. This project aims to identify how the circular agriculture apply in cocoa crop contributes to the fulfillment of the Sustainable Development Goals. In this way, it is evident that the cocoa crops generate environmental, social, and economic benefits that allows the country to continue advancing towards a more sustainable agriculture and satisfy the production necessities in conjunction with the innovation.

KeyWords: by-products, circular agriculture, circular economy, cocoa.



LA AGRICULTURA CIRCULAR APLICADA EN EL CULTIVO DE CACAO COMO APOORTE AL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Resumen

El cultivo de cacao es muy importante para Colombia, y es necesario integrar estrategias que permitan que esté se vuelva cada vez más sostenible. Del cacao se ha determinado que del fruto se aprovecha económicamente tan solo el 10% el cual se centra en los granos. Por su parte, la agricultura circular aparece como un modelo que pretende ofrecer diversas soluciones frente a estas problemáticas. Así, uno de los principios de este modelo es poder otorgar valor a los residuos generados en las diversas etapas de la agricultura. El presente proyecto pretende identificar como la agricultura circular aplicada en el cultivo de cacao aporta al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. De tal manera, se evidencia que el cultivo de cacao genera beneficios a nivel ambiental, social y económico que permiten que el país siga avanzando hacia un agro más sostenible, en donde se siga dando solución a las necesidades de producción del país en conjunto con la innovación.

Palabras clave: agricultura circular, cacao, economía circular, subproductos.

Introducción

La producción de alimentos genera diversos impactos ambientales conllevado a una pérdida de productividad, energía, recursos naturales y dinero. (Jurgilevich *et al.*, 2016). Como solución a esta problemática aparece la agricultura circular, la cual busca que se genere la menor presión posible en el medio ambiente a la vez que se sigue satisfaciendo las necesidades de producción de alimentos en la actualidad.

En Colombia, se han estado dando los primeros pasos para poder realizar dicha transición. Es así, como el Ministerio de Agricultura, Naturaleza y Calidad de los Alimentos en los Países Bajos (2020) logró identificar áreas de enfoque prioritarias de agricultura circular en Colombia y sus correspondientes agendas de trabajo para los años 2020 a 2022. Sin embargo, pese a que el cultivo de cacao fue analizado en primera instancia por el Ministerio, no fue uno de los finalmente seleccionados. Pese a ello, cabe resaltar que el cultivo de cacao es muy importante para el país por múltiples razones, que serán detalladas más adelante, y es importante implementar estrategias que vuelvan a este cultivo uno circular.

El objetivo general del presente proyecto es identificar como la agricultura circular aplicada en el cultivo de cacao aporta al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Esto, enfocado en el aprovechamiento de residuos. Así, se evidencia si se permitirá que Colombia siga avanzando hacia un agro más sostenible, en donde se siga dando solución a las necesidades de producción del país en conjunto con la innovación y respondiendo ante los fundamentos del desarrollo sostenible.

Material y metodología

Fase 1

Con base a la revisión bibliográfica en diferentes artículos académicos y científicos, entidades como el Ministerio de Agricultura, Naturaleza y Calidad de los Alimentos de los Países Bajos y empresas como la Federación Nacional de Cacaoteros, entre otros; se identifican las generalidades de la agricultura circular y los avances logrados en Colombia. Además, se determinan las generalidades del cultivo de cacao y por qué es un cultivo importante para el país en el que se deben unir esfuerzos para volverlo circular.

Fase 2

Se logra identificar cuál es el aporte del aprovechamiento de los residuos del cultivo de cacao al cumplimiento de los ODS y de tal manera se evidencia la importancia de trabajar en este cultivo para potenciar el agro colombiano.

Resultados y discusión

La agricultura circular pretende que, por medio de la búsqueda colectiva de tecnologías, asociaciones, modelos económicos y servicios sociales, el sistema agrícola tenga un buen rendimiento haciendo uso moderado de recursos, energía y ejerciendo la menor presión posible en el medio ambiente. Una de sus líneas más importantes es agregar valor al material percibido como desecho (WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH, 2018). En el caso puntual de Colombia se están encaminando estrategias para poder lograr la transición hacia una agricultura circular.

El Ministerio de Agricultura, Naturaleza y Calidad de los Alimentos en los Países Bajos (2020) indica que en noviembre de 2018 el primer ministro de los Países Bajos, Mark Rutte, y la ministra Carola Schouten visitaron Colombia con interés en generar dicha transición. Las exportaciones de Colombia a los Países Bajos más importantes en relación con los productos agroalimentarios son el aceite de palma y sus fracciones, frutas, flores cortadas, café, azúcar, y cacao. Por lo cual, éstas fueron, en primera instancia, áreas principales seleccionadas por el Ministerio de los Países Bajos para



alcanzar la agricultura circular en Colombia. Sin embargo, se hizo una selección más de detallada y el cacao no fue uno de los finalmente seleccionados. Esto, dado que los otros productos tienen características con las que los Países Bajos pueden aportar en gran medida. Pese a ello, el cultivo de cacao es muy importante para Colombia, dentro de sus beneficios se destacan:

Beneficios sociales

El cultivo de cacao es presentado como alternativa para la sustitución de cultivos ilícitos en Colombia (Gobierno de Colombia, 2018) y por ello, dinamiza la economía en zonas que en muchos casos presentan problemáticas sociales como pobreza, violencia, desempleo y grupos armados (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural *et al.*, 2013). Además, según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019) por cada hectárea sembrada de cacao se calcula que se generan aproximadamente 1,1 empleos directos e indirectos al año. En el año 2019, el sector generó cerca de 165.000 empleos entre directos e indirectos.

Beneficios económicos

El cacao colombiano es catalogado por la Organización Internacional del Cacao como fino y de aroma en el 95% del total exportado, con una tasa mayor que la de países líderes de exportación (Contreras, 2017 citado por Rodríguez, 2019). Por otro lado, pese a la pandemia generada por el COVID-19 en el año 2020, el cacao alcanzó un récord en producción con 63.416 toneladas y sus importaciones bajaron, presentándose tan solo 180 toneladas en 2020 en comparación con 402 toneladas en el año 2019. Además, según la Organización Internacional del Cacao, Colombia ocupa el décimo puesto como productor de cacao en el mundo y el quinto lugar en Latinoamérica (Federación Nacional de Cacaoteros, 2021). Esto, evidencia que el sector cacaotero se ha estado posicionando a nivel mundial.

Beneficios ambientales

El cultivo de cacao es respetuoso con el medio ambiente, la principal razón se debe a que es un sistema agroforestal, y esto permite que al asociar el cultivo de cacao con cultivos de sombríos temporales y permanentes se presenten aspectos positivos como: preservar la biodiversidad, microclimas favorables, diversificar la producción, reciclaje de nutrientes, proteger el suelo contra la erosión, compartir fertilizantes aplicados, aprovechamiento de espacio y luz, entre otros. Además, el cultivo de cacao a comparación de otros no requiere tantos insumos externos al sistema. También, ayuda a preservar ecosistemas que presentan hábitats importantes para especies de flora y fauna (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural *et al.*, 2013).

Ahora bien, la agricultura circular en el cacao debe estar enfocada al aprovechamiento de sus residuos. Por su parte, el fruto del cacao está conformado por: la cáscara, los granos (y su cascarilla cubierta por el mucílago) y la placenta. De una manera

resumida, se muestra la figura 1, en donde se evidencian las etapas de la cosecha, el proceso industrial, y los residuos generados en cada actividad. En la mayoría de las ocasiones el cacaocultor identifica como único ingreso los granos, los cuales representan tan solo el 10% del fruto (Rojas, 2019). Tan solo respecto a la cáscara de cacao en Colombia se espera que la cantidad de está que usualmente se quema o se deja descomponer al aire libre llegue a 2,1 millones de toneladas en el año 2021 (Cardona *et al.*, 2019).

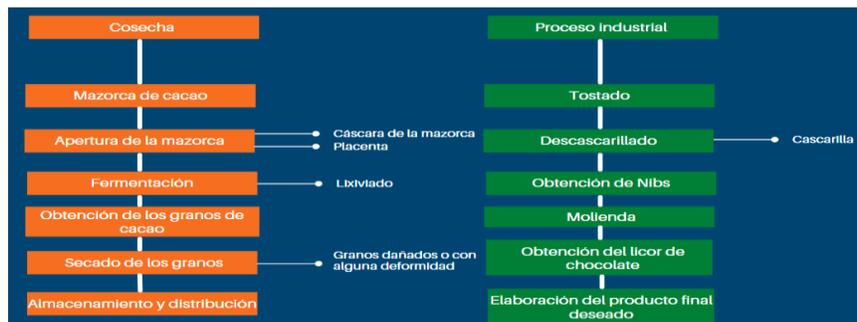


Figura 1. Residuos del fruto de cacao generados en las diferentes etapas de la cosecha y el proceso industrial

Fuente: Autor

Con esto, se hace evidente la importancia de identificar opciones de aprovechamiento a sus residuos, y es así, como alrededor del país y a nivel mundial se han generado diversos subproductos (figura 2).



Figura 2. Subproductos generados con los residuos del fruto del cacao

Fuente: Autor a partir de (Adomako y ICCO secretariat, 2016), (Cardona *et al.*, 2019) y (Oddoye *et al.*, 2013)

De modo que, los residuos del cacao tienen un alto potencial para ser transformados en subproductos de alto valor. De tal manera, se aumentan los ingresos de los cacaocultores y se contribuye con el modelo de agricultura circular. Además, el aprovechamiento de los residuos del cultivo de cacao aporta al cumplimiento de los ODS, haciendo énfasis en seis de ellos:

Objetivo 4: Educación de calidad

Es indispensable que en la formación a nivel mundial se exija una capacitación adecuada para que desde cada profesión se adquieran los conocimientos teóricos y prácticos para poder generar la transformación de los residuos del cultivo de cacao. Esto, entendiendo que la educación para el desarrollo sostenible es una herramienta clave que involucra a todas las profesiones beneficiadas que utilicen como insumos dichos residuos.

Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Las ciudades deben evaluar y repensar la manera en la que se están produciendo sus alimentos y que se está haciendo con los residuos que generados. Según la Fundación Ellen MacArthur (2019), las ciudades juegan un papel muy importante en el aprovechamiento de residuos de alimentos, ya que estas pueden garantizar que los residuos sean transformados en nuevos productos generando nuevas fuentes de ingresos en una bioeconomía próspera.

Objetivo 12: Producción y consumo responsables

El progreso del ser humano se ha visto acompañado de una degradación medioambiental. Este ODS número 12 pretende desvincular el crecimiento económico de dicha degradación. De tal manera, la agricultura circular al ofrecer como solución agregar valor a los residuos pretende potenciar la economía por medio de la producción sostenible haciendo más y mejor con menos.

Objetivo 13: Acción por el clima y objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres

El cultivo de cacao en Colombia conlleva a diversos beneficios ambientales. Por lo tanto, al trabajar con el aprovechamiento de sus residuos y la generación de tecnologías verdes para lograrlo, se contribuye a la preservación de ecosistemas y se siguen propiciando hábitats favorables para especies de fauna y flora importantes en el país.

Objetivo 16: Paz, justicia e instituciones sólidas

En Colombia el cacao ha sido catalogado como un cultivo que promueve la paz, y se presenta como una solución ante muchas personas que quieren construir una vida mejor. El aprovechamiento de los residuos del cultivo de cacao aumentaría los ingresos de los cacaocultores y su esfuerzo sería valorado económicamente en un mayor porcentaje al 10% actual que se centra únicamente en los granos.

Conclusiones

Los residuos del fruto del cacao tienen potencial para ser transformados en subproductos de alto valor agregado tales como: alimentos, cosméticos, jabones, fuentes de energía, fertilizantes y materia prima para el ganado.

El aprovechamiento de residuos del fruto del cacao permite aportar al cumplimiento de los ODS al innovar integrando los diversos desafíos ambientales, sociales y económicos.

El cultivo de cacao es muy importante para Colombia y es necesario seguir posicionando al país a nivel mundial. Esto, se debe hacer generando estrategias que permitan que este sea cada vez más sostenible.

Referencias bibliográficas

- Adomako, D., ICCO secretariat (2006). *PROJECT ON PILOT PLANTS TO PROCESS COCOA BY-PRODUCTS. SUMMARY REPORT ON A PILOT PROJECT IN GHANA*. Acceso el 6 de abril de 2021, disponible en: <https://www.icco.org/wp-content/uploads/2019/07/EX-131-7-Add-1-Ghna-Cocoa-By-Products-1.pdf>
- Cardona, E., Murillo, W., Orjuela, A. (2019). *Aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica de la cadena del Cacao, un camino a la bioeconomía circular*, en Memorias congreso internacional de ciencia y tecnología en el trópico: Aguacate Hass y Cacao, 12 al 15 de agosto de 2019. Ibagué-Tolima, Colombia. Acceso el 28 de diciembre de 2020, disponible en: http://facultadingeneriaagronomica.ut.edu.co/images/servicios/evento/congreso_CICT/MEMORIAS_CICT.pdf
- FEDECACAO (2017). *FEDECACAO- ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO DE CACAO*. [Vídeo] YouTube. Acceso 14 de noviembre de 2020, disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=dwljGUomWDU>
- Federación Nacional de Cacaoteros (2021). *Así se comportó la producción de cacao por departamentos en el 2020*. Acceso el 5 de mayo de 2021, disponible en: <https://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/1385-asi-se-comporto-la-produccion-de-cacao-por-departamentos-en-el-2020>
- Fundación Ellen MacArthur (2019). *Cities and Circular Economy for Food*. Acceso el 12 de diciembre de 2020, disponible en: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Cities-and-Circular-Economy-for-Food_280119.pdf
- Gobierno de Colombia (2018). *Sustitución de cultivos: llegó la hoja del cacao*. Acceso el 5 de mayo de 2021, disponible en: <http://www.posconflicto.gov.co/sala-prensa/noticias/2018/Paginas/20180418-sustitucion-de-cultivos-llego-la-hora-del-cacao.aspx>

- Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L., Schösler, H. (2016). *Transition towards circular economy in the food system. Sustainability*. 8(1), 69. doi: <https://doi.org/10.3390/su8010069>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural., Federación Nacional de Cacaoteros., Fondo Nacional del Cacao (2013). *GUÍA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE CACAO* (segunda edición). Acceso el 30 de diciembre de 2020, disponible en: https://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). *CADENA DE CACAO Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales*.
- Ministerio de Agricultura, Naturaleza y Calidad de los Alimentos de los Países Bajos (2020). *Agricultura circular; lo que une a Colombia con los Países Bajos*.
- Oddoye, E., Agyente-Badu, C., Gyedu-Akoto, E (2013). Cocoa and Its By-Products: Identification and Utilization. En Watson, R., Preedy, V., Zibadi, S (eds.), *Chocolate in Health and Nutrition* (pp.23-35). Humana Press.
- Rodríguez, E (2019). *Diagnóstico de la Cadena de Valor del Cacao en Colombia en La Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe* (2019). Acceso el 5 de mayo de 2020, disponible en: https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_CACAO_linea_base.pdf
- Rojas, L. (2019). *Aprovechamiento de la cáscara de Cacao para la elaboración de un biocomposito con aplicación en la construcción sostenible*. Acceso el 23 de diciembre de 2020, disponible en: https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2817/Rojas_Gonz%C3%A1lez_Lina_Manuela_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH (2018). *Agricultura circular: una nueva perspectiva para la agricultura holandesa*. Acceso el 4 de noviembre de 2021, disponible en: https://www.wur.nl/en/newsarticle/Circular-agriculture-a-new-perspective-for-Dutch-agriculture-1.htm?_ga=2.65012782.1804204696.1607554046-609745186.1607554046

Generación modelos geográficos de seguimiento por disposición de vertimientos en suelos

Jhon Sebastián Chaves Salazar¹
Rosalina González Forero²

Abstract

Las aguas residuales domésticas y no domésticas, son residuos líquidos, de los cuales se ha venido estudiando su disposición final en los suelos como alternativa a la disposición en fuentes hídricas superficiales, es por esto que en el presente trabajo se identificaron algunas caracterizaciones de suelos en Cundinamarca, con datos tomados del IGAC del año 2001 y de la CAR del año 2019, con ello, se analizaron cómo estas variables fisicoquímicas de los suelos, influyen en la recepción de aguas residuales. Para facilitar la visualización de estos datos se realizó un geovisor en el que se evidencia el estado del suelo, su uso, caracterización y posible recepción de aguas residuales. Junto con esto, se analizaron las características fisicoquímicas del agua de las subcuencas que comprendieron los municipios objeto de estudio, identificando los posibles grados de contaminación que puedan presentar estas fuentes hídricas las cuales pueden llegar a impactar los suelos con esta agua. Es de anotar que estas aguas también pueden ofrecer beneficios a los suelos, sin embargo, es necesario el tratamiento de las aguas para evitar riesgos en la salud humana y contaminación de suelos.

Palabras Clave

Aguas Residuales, Impacto Ambiental, Suelos Impactados

¹ Estudiante Ingeniería Ambiental y Sanitaria

² Doctor en Ingeniería, Investigador Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Introducción

La protección de los recursos naturales ha sido de vital importancia para el desarrollo sostenible y es así como el suelo siendo el medio natural para crecimiento de plantas y ecosistema para diversos organismos, compuesto por diversos productos naturales (aire, agua, minerales y materia orgánica), debe ser vigilado y tratado con cuidado, ya que su alteración desmesurada puede generar daños irreversibles, no solo al suelo si no a las plantas, alimentos y organismos a los cuales les sirve como soporte vital. Debido a lo anterior, es importante analizar su composición fisicoquímica, así como la de aquellos vertimientos que llegan a él, con el fin que no se ponga en riesgo su calidad y la salud humana; ya que ellos se pueden ver afectados con el uso de estas aguas en el riego de los suelos. Colombia en este sentido ha desarrollado marco normativo con el decreto 50 del 16 de enero de 2018 con el cual se establecen los requisitos para el permiso de vertimientos en suelo. Debido a lo anterior, se mencionaron los siguientes objetivos: Identificar cómo se está llevando a cabo el proceso de disposición de agua residual en suelos y las afectaciones que éste presenta, con ello identificar las variables que impactan de manera directa la degradación de los suelos y con ello Generar modelos geográficos de seguimiento por disposición de vertimientos en suelos.

Metodología

El proyecto se dividió en cuatro Fases: Fase 1 se Identificó el proceso de disposición de vertimientos en suelos, donde se hicieron entrevistas con funcionarios de la CAR para establecer los procesos determinados para la disposición de agua residual en suelos, dar cumplimiento al Decreto 50 y obtener análisis de laboratorio realizados a los vertimientos dispuestos en suelos, en la Fase 2 de Diagnóstico de suelos, se revisaron caracterizaciones de suelos del IGAC en la zona de influencia, también se solicitaron caracterizaciones de suelos de la CAR y se establecieron las afectaciones que presentaban los suelos que tenían zonas en común a partir de los datos del IGAC y la CAR, posteriormente en la Fase 3. Se Identificaron las variables impactan de manera directa la degradación de los suelos por vertimientos teniendo en cuenta aquellas que indica la normatividad y las recomendaciones del Ministerio de Ambiente y Corporaciones Autónomas tales como pH, DQO, DBO, SST, Grasas y Aceites, SAAM, Compuestos de Nitrógeno, Fósforo, Hidrocarburos y Metales Pesados y por último en la Fase 4 se hizo Relación geográfica de variables generando un geovisor para ello.

Resultados y Discusión

Es de tener en cuenta que el Geovisor abarca sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuada y extendida para la investigación y el trabajo profesional (Sarr, s.f.). Estos geovisores hacen parte de los sistemas geográficos de información SIG, los cuales son idóneos por la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelación de los datos que se puedan representar espacialmente. Estos datos se presentan en formatos de capas de información (ver *Figura 1*), en este sentido, la gran ventaja de los SIGs es que pueden relacionar las distintas capas entre sí, lo que concede a estos sistemas unas espectaculares capacidades de análisis, pudiendo responder a peticiones complejas y, por ello, producir mapas derivados que pueden representar situaciones reales o escenarios hipotéticos o simulados de gran utilidad (CEBRIAN, 1988).

Figura 1. Capas de información



Fuente: Lara, 1990.

Un modelo de datos de un SIG es un modelo de datos espacial, referida como “una representación del mundo real que puede ser usado para producir mapas, realizar consultas y diferentes análisis” (Alonso, 2015). En el ciclo de un SIG que se aprecia en la *Figura 2.*, se tiene en cuenta aspectos para el desarrollo de un modelo que sea aplicable en la realidad y que pasa por elementos como la recopilación de datos, una fuente de datos, posterior a esto se desarrolla el trabajo de capturar, recuperar y analizar estos datos por medio de las herramientas SIG (uso de ArcGIS), luego se da el paso de presentar esta información analizada (Geovisor) a los usuarios, los cuales pueden usar la información presentada para la toma de decisiones.

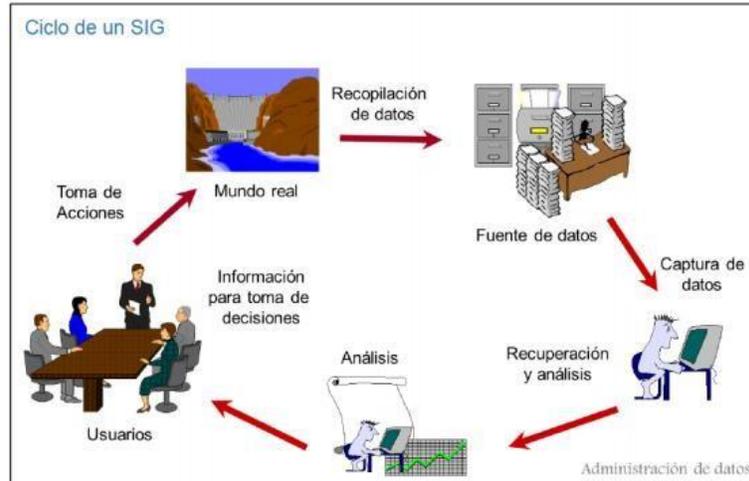


Figura 2. Ciclo de un SIG
Fuente: INEG, 2014

El geovisor es un servicio en línea que permite desplegar la información que se desea compartir (Franco, 2016). El geovisor permite acceder en la internet a la información espacial que deseemos compartir, es una herramienta de los SIGs con la que el usuario (receptor de la información) cuenta con elementos que facilitan su comprensión e interacción con el objetivo de tomar decisiones sobre el territorio. La forma en la que el usuario puede visualizar e interactuar con las bases de datos geográficas se conoce como geovisor, por su parte, el control y la creación de este se basa en un cuadro de mando o Dashboard. La información que se requiere para determinar las afectaciones al suelo y realizar la comparación del recurso hídrico-suelo son los usos del suelo, la actividad económica industrial, los parámetros fisicoquímicos del suelo y la cobertura del alcantarillado. El siguiente diagrama muestra cómo se creó el geovisor.

Diagrama 1. Flujo de trabajo para crear un geovisor



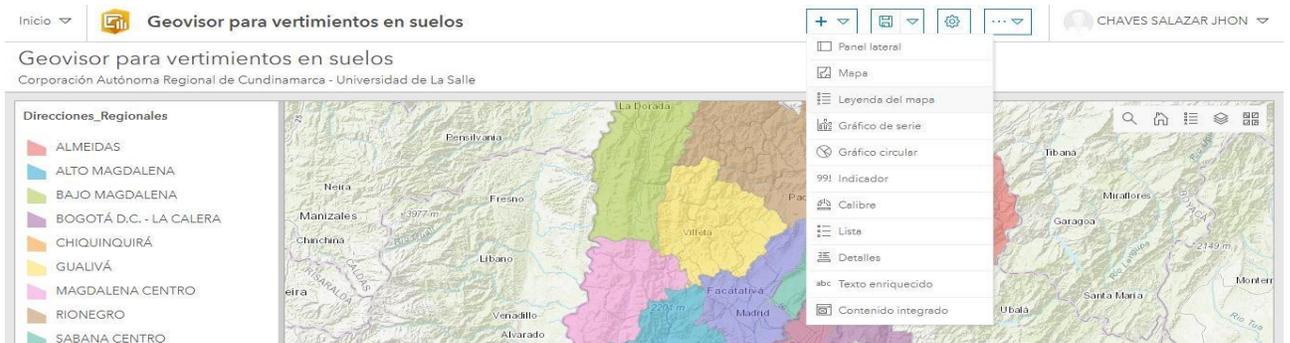
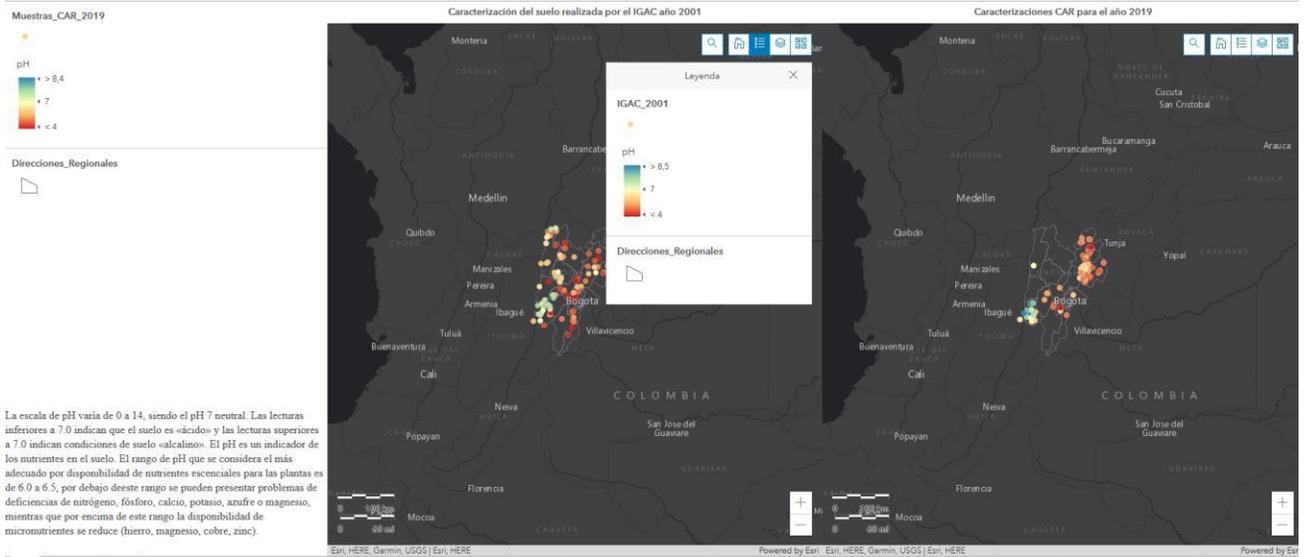
Fuente: Elaboración propia, adaptado de ESRI, 2018.

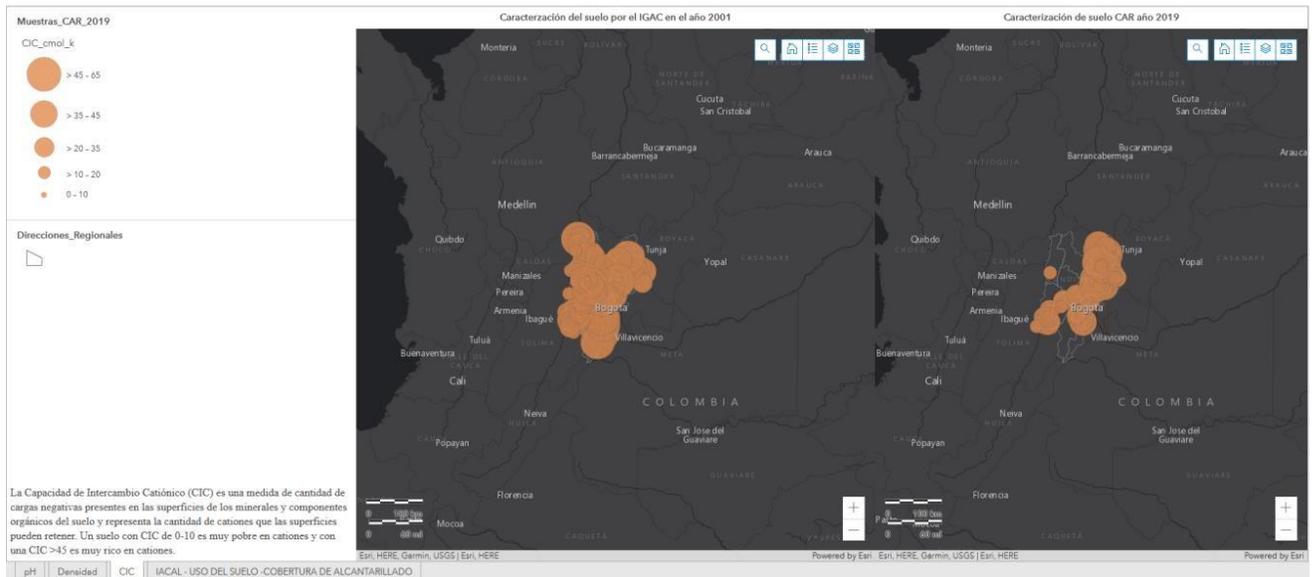
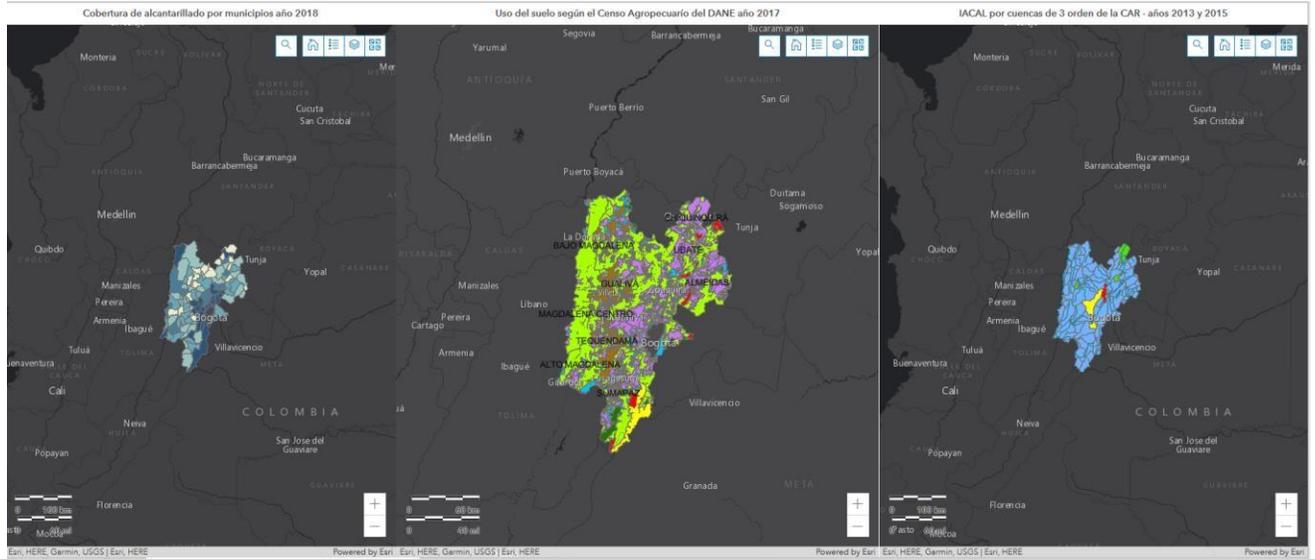
Específicamente se tomó el mapa de usos del suelo en formato shapefile desde el geoportal DANE, a partir del Marco Maestro Rural y Agropecuario DEL AÑO 2017. Los datos de caracterización del suelo del IGAC 2001 se transformaron de coordenadas geográficas a proyectadas en el sistema MAGNA SIRGAS, utilizando el software Magna Sirgas Pro 4.5. Los datos de la CAR tuvieron el tratamiento en el Software ArcGIS Pro con la organización de los parámetros fisicoquímicos en la tabla de atributos. La cobertura de alcantarillado fue descargada desde el geoportal de datos abiertos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), encontrando un Web Feature Service (WFS) que representa cobertura de viviendas que disponen de servicio de alcantarillado, según municipio para el año 2018.

El resultado se puede apreciar en El geovisor para vertimientos en suelos es una herramienta para la interacción con información cartográfica, de utilidad para entender mejor las dinámicas y los factores de seguimiento a vertimientos en suelo (ver sección 6). Para acceder a este geovisor se habilita el siguiente enlace: <https://unisalle.maps.arcgis.com/home/item.html?id=ec1cd857f2ab48b28501b043c16b22b4>

Y ejemplos del enlace se encuentran a continuación en las siguientes figuras:

Figura 2. Pestaña de opciones Dashboard





Fuente. Elaboración propia, 2021

Conclusión

El uso de geovisores permite fácilmente la toma de decisiones en tiempo real al tener almacenada la información oportuna y con gran variedad de capas para establecer impactos por vertimientos ya que en una sola visualización se puede ver el impacto físicoquímico sobre una zona vulnerable.

Referencias Bibliográficas

Decreto 50 de 2018. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible] "Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuenca (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones". 16 de enero de 2018.

Sarr, F. A. (s.f.). Sistemas de Información Geográfica.

Lara, E. L. (1990). *LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*. 789–804.

Alonso Sarría, F. (2015). Cartografía digital. Introducción a los SIG. *Sistemas de Información Geográfica*, 239. <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>

INEG. (2014). Sistema de Información Geográfica 2014 Instituto nacional de estadística y geografía.

Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v14n28/v14n28a7.pdf>

Franco, Rodolfo, 2016. Geoportales y visores geográficos en Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, DC, Colombia. 150p.

ESRI. (2018). Portal for ArcGIS.

Obtenido de

<https://enterprise.arcgis.com/es/portal/latest/administer/windows/choosing-between-an-arcgis-online-subscription-and-portal-for-arcgis.htm>

DANE, (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda, Colombia. Servicios Públicos. Obtenido de:

<https://dane.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=2749922ca5f8469db9990986c02b1b93>

DANE, (2011). Ficha técnica. Sistema de Información del Medio Ambiente.

Nitrógenos totales. Obtenido de:

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Nitrogenos_totales_13.pdf

DANE, (2011). Ficha técnica. Sistema de Información del Medio Ambiente. Fósforo Total. Obtenido de:

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Fosforos_totales_13.pdf

Procedimientos de Criminalística Ambiental en Investigaciones Asociadas al Recurso Hídrico

Andrés Felipe Pereira Buitrago¹ – Felipe Ramírez Farías¹ - Rosalina González Forero²

Abstract.

Desafortunadamente en Colombia las investigaciones asociadas a la investigación de delitos ambientales en contra del recurso hídrico son prácticamente nulas. Para esto se realiza un análisis con el fin de identificar los aspectos necesarios para cumplir las necesidades de investigación en el sector y garantizar la representatividad de las muestras obtenidas. De igual forma, se hará una revisión bibliográfica de diferentes documentos nacionales e internacionales como referencia. El resultado esperado es un documento que ayude a un mejor manejo de las muestras de recurso hídrico como evidencia probatoria y hacer cumplir la normativa colombiana en lo referente a la investigación de delitos ambientales.

Palabras clave: Perito, muestras, recurso hídrico, material probatorio.

Introducción.

Los proyectos u obras antrópicas y las actividades ilícitas como la minería ilegal o la deforestación ocasionan impactos negativos en los diferentes recursos del medio ambiente. La determinación y evaluación de dichos impactos debe ser la adecuada para determinar si se incurrió en un delito ambiental. Es por esto por lo que la toma de muestras de Elementos Materiales Probatorios (EMP) y Evidencias Físicas (EF) en campo por parte de los peritos ambientales debe ser realizada de una forma eficaz y que puedan ser representativas, para que puedan ser utilizadas como elementos acusatorios ante la ley.

En el ámbito colombiano se habla de delito ambiental a cualquier actividad que afecte y dañe los recursos naturales ya sean de carácter legal o ilícito; de igual forma, se contemplan las actividades que logren generar una contaminación ambiental incumpliendo la normativa vigente (Código Penal, 2011).

¹ Estudiante Ingeniería Ambiental y Sanitaria

² Doctor en Ingeniería, Investigador Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria

La generación del daño ambiental incurre en tomar acciones legales sobre las personas y empresas. Debido a lo anterior, a través de la Fiscalía General de la Nación se emitió la Resolución número 0-3438 de 2011, por medio de la cual se creó la Unidad Nacional de Fiscalías de Delitos Contra los Recursos Naturales y el Medio Ambiente (Fiscalía General de la Nación, 2012).

Conforme a lo anterior se observa que no hay un fundamento técnico adecuado por parte de las autoridades encargadas en utilizar estas muestras como materiales probatorios y, es necesario generar una información en cuanto a la toma de muestras y su respectivo análisis para evaluar el impacto generado. De igual forma, debe ser una guía que pueda ser utilizada por los peritos en los procedimientos que pueden ser de alto riesgo debido a los cortos tiempos de los operativos, pero que sea útil al momento de aplicarla.

El objetivo general del trabajo de investigación es generar una guía de criminalística ambiental en el componente hídrico para la determinación de impactos ambientales. Este objetivo se nutre de los siguientes específicos

- Generar un diagnóstico de las situaciones actuales en cuanto a los delitos ambientales asociados contra el recurso hídrico.
- Establecer procedimientos adecuados para hacer la medición en campo de los parámetros que pueden ser utilizados como Elementos Materiales Probatorios (EMP) y Evidencias Físicas (EF).
- Diseñar el protocolo de toma de muestras en los diferentes cuerpos de agua por parte de los peritos ambientales.

Material y metodología.

En la siguiente tabla se aprecia la metodología establecida

Tabla 1. Metodología aplicada para el desarrollo del proyecto.



FASE	PROCESO O ACTIVIDAD	RESULTADO O PRODUCTO	DATOS O INFORMACIÓN REQUERIDA	HERRAMIENTAS
1. Lectura y evaluación de procedimientos actuales en materia de criminalística ambiental contra el recurso hídrico.	Análisis de estructura y fundamentos	Contextualización de la información base del proceso de evaluación y monitoreo del recurso hídrico para la evaluación de impactos ambientales.	Metodologías empleadas actualmente para el manejo de las muestras de agua, así como su análisis e interpretación de resultados.	Procedimientos actuales.
2. Búsqueda y consulta de documentos nacionales e internacionales.	Realizar revisión bibliográfica sobre el monitoreo del recurso hídrico en el peritaje ambiental	Contextualización de lineamientos y metodologías empleadas para el manejo del recurso hídrico en la identificación de impactos ambientales.	Metodologías empleadas actualmente por diferentes organismos, así como investigaciones relacionadas con las mejoras de estos procesos.	Bibliografía.
	Revisión bibliográfica sobre el peritaje ambiental.	Contextualización de lineamientos y metodologías empleadas en el peritaje ambiental.	Metodologías empleadas actualmente por diferentes organismos de otros países.	



<p>3. Elaboración del diagnóstico de la guía actual.</p>	<p>Identificación de fortalezas y diferencias de campo para la evaluación de los impactos ambientales</p>	<p>Ideas y puntos de fortalecimiento para realizar la actualización y mejora de los procedimientos descritos en la guía actual.</p>	<p>Antecedentes y medidas innovadoras impuestas en diferentes metodologías y procedimientos de análisis.</p>	<p>Bibliografía.</p>
<p>4. Adición de apartados nuevos y mejoras a las metodologías establecidas en la guía actual (Cierre).</p>	<p>Definición de debilidades de los procedimientos actuales en comparación con los documentos internacionales analizados.</p>	<p>Reconocimiento de las debilidades y falencias de la guía actual para el manejo y análisis de muestras de agua con respecto a los procedimientos y métodos realizados internacionalmente etc.</p>	<p>Documentación previa analizada internacional.</p>	<p>Bibliografía.</p>
	<p>Elaboración de la nueva guía de metodologías para el monitoreo del recurso hídrico en la identificación de impactos ambientales.</p>	<p>Mejorar la guía actual con mejores procesos para la captación de la muestra de agua, así como un mejor manejo y recomendaciones de equipos que permitan obtener una mayor cantidad de parámetros en un margen de tiempo más corto.</p>		<p>Guía de criminalística de campo para la evaluación de los impactos ambientales.</p>

Fuente: Autores.



Resultados y discusión

Se analizaron los procedimientos actuales Criminalística Ambiental en torno al recurso hídrico y se estableció que hay una discrepancia entre los procedimientos judiciales y los ambientales. Los judiciales generalmente tienen términos de actuación mientras que los ambientales no, por otro lado, no hay laboratorios forenses acreditados para tal fin, solamente ambientales y los tiempos que manejan son diferentes, por lo que se propone la creación de laboratorios forenses que con última tecnología puedan responder a las necesidades judiciales.

También se observó que los peritos judiciales deben capacitarse en el tema ambiental en especial en el recurso hídrico, ya que no manejan protocolos ni normatividad asociada. La guía propuesta contiene los siguientes ítems:

- Conocimiento de la noticia criminal
- Identificación del hecho
- Análisis in situ
- Fijación
- Toma de muestras
- Cadena de Custodia
- Envío a Laboratorios Ambientales Forenses Acreditados
- Envío de Remanentes a la bodega de evidencias

Estos pasos buscan acoplar los procedimientos judiciales con los ambientales en los tiempos específicos. Además, se sugiere la compra de los siguientes equipos de campo:



HQ40 HACH
Tipo de parámetro: pH, LDO, CD,
ORP, ISE.
Método: Sondeo



MULTIPARÁMETRO HI 991 301
Tipo de parámetro: pH, CD, °T.
Método: Sondeo



TURBÍMETRO PORTÁTIL HI
93703
Tipo de parámetro: Turbidez
Principio de operación:
Nefelométrico



TURBÍMETRO PORTÁTIL
MDL MICRO TPW
Tipo de parámetro: Turbidez
Principio de operación:
Nefelométrico



OXIMETRO HI 9146
Tipo de parámetro: OD, °T.
Método: Sondeo



MOLINETE UNIVERSAL C 31
Aplicaciones: Velocidad de la
corriente en canales
abiertos, arroyos, ríos, mares
y tuberías de circulación
forzada



GPS MAP 62S



GPS 12CX

Figura 1. Equipos de Campo

Fuente: Autores

Conclusiones.

Se generó un documento de ayuda a la autoridad en cuanto al manejo de las muestras de recurso hídrico como evidencia probatoria para que sea aplicada en los diferentes operativos realizados para hacer cumplir la normativa colombiana en lo referente a la investigación de delitos ambientales asociados al recurso hídrico.

Referencias bibliográficas.

- Fiscalía General de la Nación. (2012, enero 4). *Nace Unidad Nacional de Fiscalías para perseguir Delitos contra Recursos Naturales y el Medio Ambiente*. Fiscalía General de la Nación. Consultado mayo 12, 2021, obtenido de: <https://www.fiscalia.gov.co/colombia/noticias/nace-unidad-nacional-de-fiscalias-para-perseguir-delitos-contra-recursos-naturales-y-el-medio-ambiente/>
- Ministerio del Ambiente. (2018). *Guía Metodológica de Peritaje Ambiental. Herramienta para la reparación integral de daños ambientales*. Primera edición. Quito, Ecuador.
- Policía Nacional de Colombia. (2014). *CRIMINALÍSTICA. Resultados de investigación. Profesional en Criminalística*. PARTNER M&M GRÁFICOS S.A.S. <https://policia.edu.co/esinc/wp-content/uploads/2020/07/LIBRO-CRIMINALISTICA.pdf>
- Resolución 3438 de 2011 [Fiscalía General de La Nación]. Por la cual se crea y reglamenta la estructura y el funcionamiento de la Unidad Nacional de Fiscalías de Delitos contra los Recursos Naturales y el Medio Ambiente, así como su sede de operación. 29 de diciembre de 2011. D.O. No. 48298.

Evaluación de un reactor biológico aerobio de lecho móvil para el tratamiento de aguas residuales de estaciones de servicio.

Yuly Paulin Acevedo Moreno^{1*}, Néstor Alonso Mancipe Muñoz¹, Francy Janeth Méndez Casallas²

¹Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

²Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Sede Bogotá

*Bogotá D.C., Universidad Nacional, Carrera 45 N° 26-85 – Ciudad Universitaria.
(+57 1). Bogotá D.C., Colombia. Email: yacevedo@unal.edu.co

Abstract

According to several gas stations characterizations of the grease trap effluent, it is observed that the discharged wastewater does not fully comply with the maximum permissible values given by article 11 of Resolution 631 of 2015). Thus, the construction of grease traps as stipulated in Article 9 of Decree 1521 of 1998 is not enough treatment, but additional treatment units might be required to tolerate flow and concentrations fluctuations that occur in these establishments. The main objective of this project is to assess the behavior of a biological reactor of suspended biomass (SBR) and of adhered biomass of mobile medium (MBBR) to treat wastewater from a gas station. To carry out the assessment, the wastewater to be treated is characterized, then a hydraulic design of the SBR reactor and the MBBR reactor is performed. Finally, the GPS-X simulator developed by the Canadian consulting company Hydromantis, Inc. is used to build mathematical models for each reactor under study. Simulation results show that MBBR reactor apparently improve the characteristics of the wastewater at the outlet of the reactor compared to a SBR reactor designed with the same conditions and parameters.

KeyWords:

Water Quality, Environmental Biotechnology, Mobile Bed, Biological Reactor, Industrial Water Treatment.

Resumen

De acuerdo a las caracterizaciones del efluente de trampa de grasas de estaciones de servicio se evidencia que el agua vertida no cumple totalmente con los valores máximos permisibles dados por el artículo 11 de la Resolución 631 de 2015, por lo que no sólo se requiere la construcción de trampas de grasas tal y como lo estipula el Artículo 9 del Decreto 1521 de 1998, sino que requiere la instalación de tratamiento adicionales que cuenten con capacidad de tolerar las fluctuaciones en cambios de caudal y concentraciones que se presentan en estos establecimientos.

El objetivo principal de este proyecto es evaluar el comportamiento de un reactor biológico de biomasa suspendida (SBR) y de biomasa adherida (MBBR) para el tratamiento de aguas residuales de una estación de servicio. Para realizar la evaluación, primero se llevó a cabo la caracterización del agua a tratar, posteriormente se elaboró el diseño hidráulico del reactor SBR y MBBR. Con estos resultados, se utilizó el simulador GPS-X desarrollado por la empresa consultora canadiense hydromantis, Inc. donde se construye un modelo para cada reactor bajo análisis. De esta manera, se encontró que los reactores biológicos MBBR aparentemente tienen la capacidad de mejorar las características del agua a la salida del reactor, en comparación con un reactor SBR diseñado con las mismas condiciones y parámetros.

Palabras clave: Calidad del agua, biotecnología ambiental, Medio Móvil, Reactor Biológico, Tratamiento de agua industrial.

Introducción

La operación normal de las estaciones de servicio genera residuos sólidos y líquidos, emisiones (compuestos orgánicos volátiles), olores y ruidos. Los residuos líquidos se caracterizan por tener un alta carga de grasas y aceites, hidrocarburos, sólidos suspendidos, solventes halogenados, detergentes, desengrasantes, restos de combustibles, ceras especiales y concentraciones variables de metales (Comisión Nacional del medio Ambiente, 1999). González y Giraldo (2019) evidenciaron de una muestra puntual a la salida de una trampa de grasas de una estación de servicio en Bogotá que los parámetros como DBO₅, DQO, fenoles, grasas y aceites no cumplen con los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales asociadas con hidrocarburos (artículo 11 de la resolución 631 de 2015). Estos resultados demuestran que este tipo de establecimientos deben contar con sistemas de tratamiento que tenga la capacidad de remover contaminantes de interés sanitario, además de tolerar las fluctuaciones en el caudal y concentraciones del afluente.

Zalakain & Manterola (2011) indican que los procesos biológicos de lecho móvil son una solución interesante para tratar las aguas residuales provenientes de una estación de servicio ya que proveen un tratamiento que genera bajos costos de operación y mantenimiento y cuentan con capacidad de asimilar cambios en la carga contaminante. El reactor biológico de lecho móvil (MBBR) es un proceso de tratamiento biológico

aerobio donde se tienen microorganismos que se inmovilizan en un medio de soporte inerte móvil. Inicialmente se emplearon reactores con lecho fijo, pero debido a que la frecuencia de limpieza se incrementaba por los problemas operacionales causados por el atascamiento del lecho por el crecimiento excesivo de la biomasa surgió la necesidad de crear procesos simples de lecho móvil que facilitaran la operación. En los MBBR, una parte crítica es el medio móvil. Dentro de las múltiples opciones se cuenta con el medio conocido como *MUTAG BIOCHIP®* y el Alginato de Calcio. El primero, fue desarrollado por la empresa alemana Multi Unwvellttechnologies, distribuido en España por Zenit Technologies SL y en Colombia por *R&R Ingeniería*. Esta última facilitó un kilogramo del medio para realizar la parte experimental del estudio. El *MUTAG BIOCHIP®* tiene un alto rendimiento y proporciona una superficie activa de $3000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ para la inmovilización de los microorganismos. Por lo cual se ha demostrado que puede reducir un 48% del volumen requerido en comparación con sistemas convencionales. El segundo medio móvil es conocido como perlas de Alginato de Calcio, las cuales se fabrican en laboratorio a partir de Alginato de Sodio y Cloruro de Calcio. Este medio ha sido estudiado en diferentes campos de aplicación tales como: remoción de metales pesados, sistemas para la liberación de fármacos, tratamiento de aguas (Moreno y Prieto, 2018). El objetivo de esta investigación es evaluar matemáticamente el desempeño de un reactor biológico aerobio de biomasa suspendida (SBR) y un reactor biológico MBBR a través del modelo GPS-X frente a la remoción de DQO y sólidos suspendidos de aguas residuales provenientes de estaciones de servicio.

Materiales y Métodos

El proyecto se desarrolla en 3 fases: [1] preliminares, donde se establece una estación de servicio donde se caracterizan muestras de agua residual y se realiza una recopilación de información relevante del proyecto. [2] selección de medio móvil a usar, parámetros de diseño y operación del reactor. [3] modelación matemática para evaluar el desempeño de un reactor SBR y un reactor MBBR para tratar aguas residuales de una estación de servicio.

Preliminares (estación de servicio y recopilación de información)

El agua utilizada en esta investigación proviene de una estación de servicio de gasolina ubicada en la ciudad de Bogotá, D.C., la cual cuenta con servicios de distribución de combustible, establecimiento de comida, servicios de lubricación, alineación y balanceo, cambios y reparación de llantas. Se realizó un muestreo puntual a la salida de la trampa de grasas existente con el fin de conocer la calidad del agua. Las muestras fueron rotuladas y preservadas. Posteriormente, los análisis de laboratorio se realizan en el Laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, donde se miden los parámetros: DQO, SST, SSV, grasas y aceites bajo métodos estandarizados en el laboratorio por Bustos, (2019). Es importante destacar que debido a la disponibilidad de materiales y tiempos requeridos para realizar los análisis de laboratorio solo fue posible analizar el parámetro de DBO_5 en la primera muestra, con la

cual se calculó la relación entre DBO_5 y DQO. Por otro lado, los análisis microbiológicos de la muestra de agua residual se llevan a cabo en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad de la Salle, donde se utilizó el método de tinción de Gram (EcuRed, 2019). Para la elaboración de esta investigación se recopiló información acerca de los Sistemas de tratamiento de reactor biológico, medios de soporte Biológico (Alginato de calcio o *MUTAG BIOCHIP®*). Así mismo, se revisaron los criterios y parámetros de diseño de los sistemas de reactor biológico de lodos activados. Esta información se buscó en artículos científicos, libros, bibliotecas, repositorios de universidades, manuales de operación, revistas indexadas, y bases de datos sobre tesis y trabajos de grado que se ha realizado utilizando estas tecnologías principalmente en la Universidad Nacional de Colombia de Colombia y la Universidad de La Salle.

Selección del medio de soporte móvil a utilizar

Para la selección del medio móvil se realizaron pruebas físicas y microbiológicas, en donde se evalúan técnicamente dos medios de soporte: *MUTAG BIOCHIP®* y el Alginato de Calcio. Para la prueba física se evaluó la sumergencia del medio y la velocidad de agitación. Para evaluar la sumergencia del medio se utilizaron dos recipientes de 1 litro, en cada recipiente se adicionó 500 ml de agua residual y como volumen de medio se tomó el 5% del volumen total del agua, es decir, se utilizaron 20 discos de *MUTAG BIOCHIP®* en el recipiente 1 y 161 perlas de alginato de calcio en el recipiente 2. Pasados 5 minutos se procedió a realizar la inspección visual para cada recipiente. La velocidad de agitación se evaluó con ayuda del equipo de jarras en donde a cada uno de los dos vasos se adicionó 500 ml de agua residual y el mismo número de perlas y discos utilizados en la prueba anterior. Se varió la velocidad de agitación en cada frasco entre un rango de 10 a 130 RPM durante 15 y 20 minutos.

Para el desarrollo de la prueba microbiológica, se realizó un montaje en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional, el cual duró 8 días. Para ello se utilizaron dos tanques en acrílico con un volumen de 4.6 Litros de volumen útil cada uno. Con el fin de garantizar una concentración de licor de mezcla de 1500 mg/L en cada tanque, se utilizó 2.75 litros de lodo y 1.85 litros de agua residual proveniente de la estación de servicio. El lodo tenía una concentración de 2508.9 mg/L y fue extraído del cárcamo de bombeo de lodos de la PTAR de agua residual doméstica del sector urbano de Funza. Inicialmente como volumen de medio móvil a utilizar, se adoptó el 1.5% del volumen total, es decir, 55 discos y 445 Perlas. Para garantizar condiciones aerobias se contó con un aireador tipo pecera con piedras difusoras en cada uno de los tanques, de esta manera garantizar una concentración de oxígeno entre 1 a 3 mg/L. Durante los 7 días siguientes al inicio del experimento, de cada uno de los tanques se extraían diariamente 2.76 Litros de agua clarificada, para después ser llenados con agua residual hasta alcanzar el volumen inicial, de esta manera promover el crecimiento de biomasa en cada tanque. En el octavo día se paró el experimento, y se extrajeron tres muestras aleatorias de cada uno de los tanques, es decir, 9 discos y 33 perlas. Para estimar el número de unidades

formadoras de colonias por mililitro en cada uno de los medios, se utilizó el método indirecto conocido como escala de McFarland (Wiley-Blackwell, 2004).

Posteriormente con la información recopilada y resultados obtenidos en la prueba fisicoquímica y microbiológica se aplica la metodología descrita por Contreras (2009) procesos analíticos jerárquicos (AHP, por sus siglas en inglés), donde se usan 3 criterios de evaluación (factibilidad técnica, económica y ambiental), con un total de diez aspectos a evaluar. Para estimar la valoración de cada uno de los criterios y aspectos a evaluar para los dos medios, se diseñó y aplicó una encuesta virtual a expertos sobre el tratamiento de agua residual. Esta encuesta permite definir los valores de ponderación de cada uno de los criterios y aspectos a evaluar según una escala de valoración de nivel de importancia. De esta metodología se obtiene la calificación global para cada medio móvil, seleccionando el que obtenga la mayor calificación. Con el fin de comprender mejor la aplicación de la metodología AHP se recomienda revisar el documento realizado por Hurtado (2005) y Moreno (2002).

Evaluación matemática a través del modelo GPS-X

Para la evaluación matemática primero se diseñó dos reactores: uno corresponde al reactor biológico SBR y el otro al Reactor MBBR. Posteriormente se diseñan los modelos y se llevan a cabo las simulaciones matemáticas de escenarios para los dos reactores utilizando el software GPS-X. Para el diseño hidráulico de los reactores se consideraron parámetros de diseño establecidos para reactores biológicos aerobios de tipo por cochadas en literatura especializada y normatividad vigente. Para el reactor de biomasa suspendida se utilizó la metodología de diseño planteada por Metcalf & Eddy (1995), considerando un proceso de lodos activados del tipo aireación extendida. Para el diseño del reactor de biomasa adherida se seleccionó un proceso de lodos activados del tipo completamente mezclado. La simulación se corre para 7 días, tiempo adaptado del estudio de Gonzales y Giraldo (2019), quienes demostraron que en este tiempo se alcanzan las máximas eficiencias de tratamiento en este tipo de sistemas.

Para el modelo del Reactor SBR se proponen cuatro escenarios que evalúan porcentajes de remoción de DQO y SST, así: [1] se consideran los parámetros de diseño del reactor SBR base; [2] se amplía la duración del tiempo de reacción de 4.84 a 12 horas para evaluar la incidencia del tiempo de reacción en el comportamiento del reactor; [3] se duplica el caudal para evaluar la incidencia del aumento del caudal de entrada al reactor; [4] se duplica la DQO para evaluar el efecto del incremento de la carga contaminante en el reactor.

Para el modelo del reactor MBBR se proponen seis escenarios que permiten evaluar los porcentajes de remoción de DQO y SST en el sistema de tratamiento, así: [1] se consideran parámetros de diseño del reactor MBBR base; [2] se reduce el área de superficie específica del medio de 3000 a 1500 m²/m³ para evaluar la incidencia de la

superficie específica del medio en el comportamiento del reactor; [3] se duplica el caudal para evaluar la incidencia del caudal de entrada al reactor; [4] se varia la densidad de la biopelícula desde $\frac{1}{2}$ hasta dos veces el valor del escenario 1 para evaluar la influencia de este parámetro en el comportamiento del reactor; [5] se varia el porcentaje de volumen del medio en el reactor de 70 a 8.3% para evaluar la incidencia del volumen del medio en el reactor; y [6] se incluyen los parámetros de diseño del reactor SBR con medio móvil.

Resultados y Discusión

Preliminares (estación de servicio y recopilación de información)

La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales provenientes del efluente de una trampa de grasas de una estación de servicio se presenta en la Tabla 1. En esta se puede observar que en un día de lluvia la DQO es el doble del valor de un día con sol, mientras que grasas y aceites es 1.5 veces mayor bajo la misma comparación. En días con alto flujo vehicular como son los días después de festivos o fines de semana, la DQO oscila entre los valores de días soleados y lluvioso, pero grasas y aceites si presenta un aumento significativo. De manera general se evidencia que la calidad del agua de una estación de servicio es muy variable y puede depender en gran medida de las condiciones climáticas del lugar y de los tiempos de limpieza de la trampa de grasas. Razón por la cual, se corrobora que se requieren de sistemas con buena capacidad para afrontar cargas contaminantes de choque como de caudal para este tipo de establecimientos. Por otro lado, la caracterización microbiológica del agua residual mediante el método de tinción de Gram dio como resultado la presencia de Bacilos Gram negativos, dentro de los cuales se identificó la Bacteria *Pseudomona Aeruginosa*, resultado similar al obtenido por González y Giraldo (2019). Es importante destacar que, a pesar de que la *Pseudomona SP* se considera un patógeno oportunista que puede causar infecciones intrahospitalarias (Bush y Pérez, 2018), Braibant (2004) indica que estas también pueden consumir todo tipo de sustratos orgánicos tales como: hidrocarburos.

Tabla 1. Caracterización del efluente de una trampa de grasas en una estación de servicio

Parámetros	Unidades	Análisis 1*	Análisis 2**	Análisis 3***	RES 631 2015
Grasas y aceites	mg/L	100	31	51.6	15
DBO ₅	mg/L	320	245****	492****	60
DQO	mg/L	400	305	615	180
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	92	81	96	50
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	33	26	46	Análisis y reporte
pH		7.2	7.5	7.5	
Relación SST/SSV	%	36	32	48	

* Muestra tomada en febrero 17 de 2020

** Muestra tomada día soleado junio 16 de 2020

*** Muestra tomada día de lluvia junio 24 de 2020

**** Valor estimado como 80% de la relación DBO/DQO obtenida en el análisis 1

Selección del medio de soporte móvil a utilizar

Al realizar la prueba física para los medios móviles *MUTAG BIOCHIP®* y el Alginato de Calcio se evidenció que las perlas de alginato de calcio se sumergieron completamente mientras que el *MUTAG BIOCHIP®* quedó flotando en la superficie lo que puede generar problemas en el arranque y puesta en marcha de una PTAR (ver Fotografía 1).



a. Medio *MUTAG BIOCHIP®* al inicio de la prueba



b. Medio *MUTAG BIOCHIP®* después de permanecer 15 días en agua



c. Perlas de alginato de calcio al comienzo de la prueba

Fotografía 1. Prueba Física Sumergencia del medio

En la prueba de velocidad de agitación se logró evidenciar que para el alginato de calcio la velocidad de agitación estaba entre 40 y 70 rpm, mientras que para el medio *MUTAG BIOCHIP®* es de 80 a 110 rpm. Este último es más pesado y se observó que tendía a sedimentarse rápidamente en comparación con el alginato de calcio. En cuanto a la fabricación y disponibilidad de materiales, las perlas de alginato de calcio presentan una gran desventaja porque en Colombia se encuentra restringida la venta hasta de 5 kilos al mes del cloruro de calcio. Así mismo, para fabricar las perlas los químicos y equipos deben ser esterilizados y refrigerados, además de requerirse de un sistema de dosificación para la fabricación de las perlas, lo cual hace más dispendioso el trabajo.

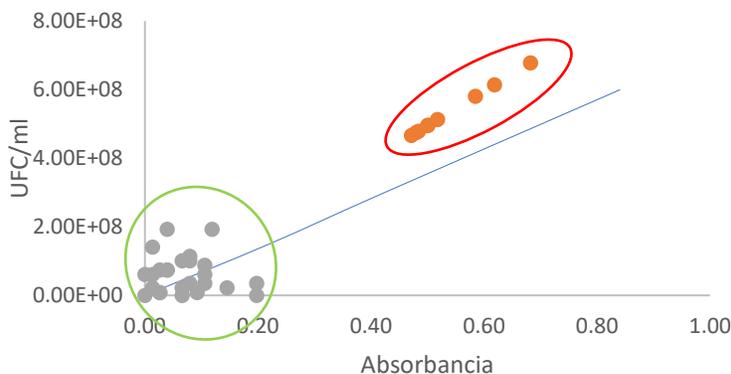


Figura 1. Resultados conteo de células en UFC/ml para cada uno de los dos medios

En la prueba microbiológica se logró evidenciar que el medio móvil *MUTAG BIOCHIP®* (señalado en círculo rojo en la Figura 1) presenta mayor formación de colonias en comparación con las perlas de alginato de calcio. Lo que conduce a pensar que el *MUTAG BIOCHIP®* potencialmente induce a un mayor porcentaje de remoción de un contaminante específico dada su alta relación de área superficial / volumen. Es importante destacar que el *MUTAG BIOCHIP®* para esta prueba se sumergió totalmente en el agua después del cuarto día. Por lo que los resultados obtenidos son muy buenos en comparación con las perlas de alginato de calcio que desde el comienzo de la prueba estuvieron sumergidas.

La metodología AHP indicó que el componente técnico tiene un nivel de importancia del 37%, mientras que la parte ambiental y económica un 32% cada uno. Con base a los resultados obtenidos para los tres componentes evaluados, el *MUTAG BIOCHIP®* obtuvo un puntaje total de 62% y 50% para las perlas. Por esta razón se seleccionó el *MUTAG BIOCHIP®* para continuar con la fase 3 del proyecto.

Evaluación matemática a través del modelo GPS-X

En la Tabla 2 se presentan las características de diseño para cada reactor. Con esta información se procedió a la construcción de los dos modelos en el software GPS-X, teniendo en cuenta las características del agua residual a tratar en el modelo y considerando las características de cada uno de los escenarios presentados en la metodología.

Tabla 2. Diseño de los reactores SBR (sin medio móvil) y MBBR (con medio móvil)

ID	PARÁMETRO	UNIDAD	SBR	MBBR
1	DBO ₅ Entrada	mg/L	240	240
2	SST Entrada	mg/L	93	93
3	DQO Entrada	mg/L	300	300
4	Caudal de entrada	m ³ /d	259.44	259.44
5	Volumen Útil	m ³	138.59	33.34
6	Área Superficial	m ²	46.2	11.11
7	Altura del agua	M	3	3
8	Carga orgánica volumétrica	kg DBO ₅ / m ³ -día	0.45	1.87
9	Relación Alimento /Microorganismo	kg DBO ₅ / kg SSVLM-d	0.1	0.31
10	Sólidos Suspendidos en el reactor	mg/L	4493	6000
11	Tiempo retención hidráulica	Días	0.50	0.12
12	Edad de lodos	Días	0.50	0.12
13	Proporción llenado de medio en reactor	%	-	8.3
14	Caudal lodos desecho	m ³ /d	2.85	2.92
15	Cantidad lodo seco	kg/d	3.28	3.35
16	Caudal de aire (O ₂) real requerido	m ³ /d	8384.08	6478.16

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para el reactor de biomasa suspendida y en la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en el reactor de biomasa adherida de medio móvil.

Tabla 3. Resumen resultados obtenidos para sistema convencional

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
DQO Entrada (mg/L)	300	300	300	600
DQO Salida (mg/L)	136.7	135.5	151.6	246
Remoción DQO (%)	54	55	49	59
SST Entrada (mg/L)	173.5	173.5	173.5	173.5
SST Salida (mg/L)	29.75	28.66	42.88	32.59
Remoción SST (%)	83	83	75	81

Tabla 4. Resumen resultados obtenidos para sistema MBBR

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
DQO Entrada (mg/L)	300	300	300	300	300	300
DQO Salida (mg/L)	86.1	104.7	105.3	102.7 - 74	190.7	190.7
Remoción DQO (%)	71	65	65	66 - 75	36	36
SST Entrada (mg/L)	173.5	173.5	173.5	173.5	173.5	173.5
SST Salida (mg/L)	85.99	99.62	99.92	98.6 - 76.5	124.6	124.6
Remoción SST (%)	50	43	42	43 - 56	28	28

Con base a estos resultados se logra apreciar que el caudal que ingresa al reactor SBR influye en la calidad del efluente. Por lo que a mayor caudal en el mismo volumen y con los mismos tiempos de reacción se denota una reducción en la eficiencia del reactor. Lo anterior, debido a la reducción en el tiempo efectivo de la reacción. En cuanto al reactor MBBR se evidenció que la remoción del sistema depende en gran medida de las características y del comportamiento del medio móvil a utilizar. Finalmente se logra apreciar (para los dos Escenarios 1) que aparentemente un sistema MBBR puede generar mayores eficiencias y porcentajes de remoción de DQO y SST en comparación con un Reactor SBR. Sin embargo, se recomienda evaluar en un futuro proyecto, en la prueba física-experimental la densidad, espesor y el contenido de material seco de la biopelícula en el medio de soporte. De esta manera, se podrá contar con datos suficientes para evaluar matemáticamente el tratamiento sin tener que tomar valores por defecto o dar valores aleatorios y tener mayor certeza en que el reactor MBBR si genera una mayor remoción de DQO y SST en comparación con el reactor SBR.

Conclusiones

Debido a que el medio *MUTAG BIOCHIP®* desde el punto de vista técnico presento mayores rendimientos y ventajas en comparación con el alginato de calcio, para el desarrollo de este estudio se realizó la selección de este medio. Sin embargo, el Alginato de Calcio arrojó resultados prometedores, por lo cual se concluye que este medio podría ser eventualmente utilizado en otros estudios.

Se encontró que el *MUTAG BIOCHIP®* puede generar problemas operacionales en el arranque y puesta en marcha del sistema MBBR debido a la flotabilidad de este. Así mismo se logró evidenciar que este requiere una mayor potencia para mantener suspendido el medio móvil, lo cual podría redundar en aumentos de costos de operación.

La evaluación matemática de los dos tipos sistemas de tratamiento permite pensar que los MBBR podrían generar mayores porcentajes de remoción de DQO y SST. Sin embargo, estos resultados estarán sujetos a las características del medio móvil a utilizar. Se encontró dificultades para probar que el sistema MBBR puede tratar el mismo caudal de diseño que un reactor de biomasa suspendida, debido a que cuando se usa un tanque de menor volumen los resultados de la simulación muestran deterioro en las eficiencias de remoción, lo cual no corresponde a lo esperado en la realidad.

Referencias bibliográficas

- APCO ATLANTIC S.L (2014). Nuevos medios portantes para tecnología MBBR, más rendimiento y respeto medioambiental. (Reportaje) Recuperado de <https://www.aguasresiduales.info/revista/reportajes/nuevos-medios-portantes-para-tecnologia-mbbr-mas-rendimiento-y-respeto-medioambiental>
- Arnáiz, C., & Lsac Y Juman Lebrato, L. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales (Revista Tecnología del Agua, marzo de 2000) 1. Eliminación de carbono orgánico. 7. Recuperado de http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Tratamiento_biologico_edar.pdf
- Bassin et al. (2016). Effect of increasing organic loading rates on the performance of moving -bed biofilm reactors filled with different support media: Assessing the activity of suspended and attached biomass fractions. Artículo. Science Direct Process Safety and Environmental Protection 100 (2016) 131-141
- Braibant. C., (2004). Estudio del potencial de degradación de los hidrocarburos por Acinetobacter sp. y Pseudomonas putida para su aplicación en la biorremediación de suelos contaminados. Informe de práctica de especialidad. Instituto tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Bush. L., & Pérez. M., (2018). Infecciones por Pseudomonas y patógenos relacionados. Recuperado de <https://www.msmanuals.com/es-pe/professional/enfermedades-infecciosas/bacilos-gramnegativos/infecciones-por-pseudomonas-y-pat%C3%B3genos-relacionados#>
- Bustos, M. C. (2019). Asignatura Calidad del agua – Universidad Nacional
- Comisión Nacional del medio ambiente – Región Metropolitana. (1999). Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Estaciones de servicio.
- Contreras, E. (2009) Diapositivas Evaluación Multicriterio. Clase Evaluación social de proyectos
- Dautan. R., Pérez. M., Contreras. A., Marzana. A., Rincones. B., (1988). Diseño Y Construcción De Un Reactor discontinuo Secuencial Para Remociones DBO. XXVI Congreso Interamericano de AIDIS, Lima, Perú. Venezuela
- Delgado. L. (2017). Preparación de la escala de McFarland. (block). Recuperado de <http://microlydiadt.blogspot.com/2017/02/preparacion-de-la-escala-de-mcfarland.html>
- Dueñas. C., & Valle. R., (2013). Microbiología Oral (Diapositivas de clase). Septiembre 5 de 2013
- EcuRed, (2019). Tinción de gram. Block. recuperado de https://www.ecured.cu/Tinci%C3%B3n_de_Gram.
- Eguia Emilio. (1991). Desarrollo de la biopelícula en medio soporte permeable (Trabajo de grado). Universidad de Cantabria, Santander, Colombia
- González, H., Giraldo, J. (2019). Prueba piloto para la evaluación de MUTAG en el tratamiento de aguas residuales provenientes del sector de hidrocarburos (Trabajo de grado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia

- Hernández Covarrubias, S. A., (2011). Inmovilización de microorganismo en esferas de alginato como protección contra condiciones adversas en un tratamiento de agua residual. (Trabajo de grado). Centro de Investigaciones biológicas del Noroeste, S.C., La paz Baja California Sur, México.
- Hydromantis (2019). Guía tutorial GPS-X. Paso a paso para aprender y conseguir familiarizarse con el Software
- Hydromantis (2019). Guía de usuario GPS-X.
- Jahren, Rintala, Odegaard, (2002). Aerobic Moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions. Artículo. Revista Water Research 36 (2002) 1067-1075
- Lupo Pasin, B. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. Artículo. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol 3(1): 130-151. Enero- junio, (2012)
- Lewandowski, Z., & Boltz, J. P. (2011). Biofilms in Water and Wastewater Treatment. In Treatise on Water Science (Vol. 4, Issue October 2017). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00095-6>
- Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. 3ra edición Volumen I y II: Mc Graw Hill.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible (18 de abril de 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. (Resolución 631 de 2015). DO: 49.486
- Ministerio de Minas y Energía - MINMINAS. (4 de agosto de 1998). Por la cual se reglamenta el almacenamiento, manejo, transporte y distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, para estaciones de servicio. (Decreto 1521 de 1998). DO: 43.357
- Molina Judith., (2015). Evaluación de la eliminación de materia orgánica y nitrógeno de las aguas residuales en un reactor biopelícula de membrana tubular aireada. (Trabajo de grado). Universidad da Coruña, A coruña.
- Moreno, C. A., & Prieto, E. V. (2018). Desarrollo de pellets de alginato de calcio que permitan la liberación de un aceite esencial. (Trabajo de grado). Universidad de América, Bogotá, Colombia
- Moreno, J., (2002). El proceso analítico jerárquico (AHP). fundamentos, metodología y aplicaciones. Universidad de Zaragoza
- Muñoz, J. F., & Ramos, M. R. (2014). Sequential Batch Reactors: Universidad Militar Nueva Granada - Ciencia E Ingeniería Neogranadina, 5 mayo 2014, 49–66
- Nava Urrego, L. M., Gasperín Sánchez, R., & Durán Moreno, A. (2014). Comparación de un reactor de biomasa suspendida y un reactor de biomasa adherida para la biodegradación de compuestos tóxicos presentes en aguas residuales de refinerías de petróleo. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 30(1), 101–112

- Noyola. A., Morgan- Sagastume. J., & Güereca. L., (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Universidad Nacional Autónoma de México. México
- Pedroza A., Quevedo B y Matiz A., (2007). Manual de laboratorio de procesos biotecnológicos. Departamento de microbiología, Pontificia Universidad Javeriana. Pg 82-83
- Pérez Madueño, M., & Rifi Zaitouni, I., (2011). Detección y eliminación de fumonisinas en alimentos. (Trabajo de grado). Universidad politécnica de Cataluña. España
- Practica 23 de Microbiología, (2017). Escala McFarland. Recuperado de (<https://fiestadelosmicroorganismos.wordpress.com/2017/03/02/practica-23-escala-mcfarland/>).
- Practica de Laboratorio: Microbiología, (2017). Escala McFarland. Laboratorio clínico y biomédico. Curso 2017-2018. Recuperado de <http://microbiologiabohio.blogspot.com/2018/01/escala-de-mcfarland.html>
- Sánchez. J., Mejía. A., & Amorocho, (2015). Software de ingeniería especializado en el diseño y simulación de plantas de tratamiento de agua residual: revisión. Revista Ingeniería y Región. 2015; 13 (1): 57-71
- Romero Rojas, J.A. (2004). Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. p. 650-1197.
- Sanabria Cubillos, A., & Pacheco Ojeda, J. D. (2019). Diseño y evaluación de un reactor biológico de lecho móvil de cargas secuenciales como alternativa de tratamiento para un vertimiento procedente de una industria farmacéutica. (Trabajo de grado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia
- Tabares. J., Gallo. L., & Mancipe. N., (2018). Selección de un modelo matemático mediante la metodología ahp para modelar de techos verdes en Colombia. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo. ISSN 1900-771X/E-ISSN 2422-4324
- Tomaszek, J. A., & Grabas, M. (1998). Biofilm Reactors. In Chemistry for the Protection of the Environment 3. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9664-3_13
- Wiley-Blackwell, (2004). Kimberley A. Whitman et al "Finfish and shellfish bacteriology manual: techniques and procedures" First Edition. United States.
- Zalakain, G., & Manterola, G. (2011). Tratamiento de Aguas: Procesos avanzados de biomasa fija sobre el lecho móvil para el tratamiento de aguas residuales en la Industria Farmacéutica. Farmespaña Industrial, 98–101.
- Zenit Technologies. (2014). Rellenos para lechos móviles (MBBR) Rellenos para lechos móviles (MBBR).