

UN CAMINO A LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL: PERSPECTIVA DE LA EDUCACIÓN Y LA INGENIERIA

Autoras y compiladoras:
Sandra Liliana Cristancho Cruz
Leila Nayibe Ramirez Castañeda



**UNIVERSIDAD
LIBRE®**

UN CAMINO A LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL

“PERSPECTIVA DE LA EDUCACIÓN Y LA INGENIERÍA”

Universidad Libre Seccional Socorro
Editora académica



**UNIVERSIDAD
LIBRE®**

Cristancho Cruz, Sandra Liliana
Ramírez Castañeda, Leila Nayibe

Un camino a la sustentabilidad ambiental: Perspectiva de la Educación y la Ingeniería / Comité Académico y Científico: Sandra Liliana Cristancho Cruz, Leila Nayibe Ramirez Castañeda, Edgar Quintanilla Piña, Paola Andrea Celis Rivera, Cesar Augusto Alba Rojas, Olith Antonio Ardila Jaimés, María del Pilar Guauque Torres, Antonio Sierra Ferreira - Socorro: Universidad Libre Seccional Socorro, 2020.

191 p. :il. ; 28 cms
Incluye referencias bibliográficas
ISBN: 978-958-52520-6-6

Inicia con los capítulos 1. Diseño de Terraza Verde Autónoma y Sostenible. 2. Simulación de la Generación de Energía Eléctrica mediante Gasificación de Biomasa en Gasificador de lecho descendente a pequeña escala. 3. Avances Tecnológicos en Módulos Fotovoltaicos y su Influencia en el Diseño de Proyectos de Energía Solar. Termina con capítulo 12. Análisis de eficacia de la gestión del proceso de difusión de alertas por fenómenos naturales por parte del sistema nacional para la gestión del riesgo de desastres de Colombia.

620.8 RNU
Catalogación en la Fuente - Universidad Libre. Biblioteca

Comentarios y sugerencias:

Correo de los autores y/o Comité Académico Científico

sandra.cristancho@unilivre.edu.co; leila.ramirez@unilivre.edu.co; cesara.albar@unilivre.edu.co;
pilar.guauque@unilivre.edu.co; quintanillapinaedgar@gmail.com; paolaandrea.cr@gmail.com;
olith.archila@gmail.com; tonosierra22@hotmail.com

© Sandra Liliana Cristancho Cruz, Leila Nayibe Ramirez Castañeda, Edgar Quintanilla Piña, Paola Andrea Celis Rivera, Cesar Augusto Alba Rojas, Olith Antonio Ardila Jaimés, María del Pilar Guauque Torres.

© Facultad Ciencias de la Educación, 2020

© Universidad Libre Seccional Socorro, 2020

ISBN DIGITAL. 978-958-52520-6-6

Queda hecho el depósito que ordena la ley.

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin la autorización previa y por escrito de los titulares del copyright.

Editorial: Universidad Libre Socorro (978-958-52520)

Editor Compilador:

Sandra Liliana Cristancho Cruz; Doctorando en Educación; Correo-e: sandra.cristancho@unilivre.edu.co;
Facultad Ciencias de la Educación; Campus Universitario Majavita Tel.: 7276500, Ext. 3692.
Universidad Libre Seccional Socorro Santander.

Leila Nayibe Ramírez Castañeda; Doctora en Ingeniería Industrial; Correo-e: leila.ramirez@unilivre.edu.co;
Programa de Ingeniería Industrial; Universidad Libre Bogotá.

Corrección de estilo: Antonio Sierra Ferreira; Correo-e: tonosierra22@hotmail.com

Diseño y diagramación: Aldemar Bonilla Torres

Esta obra está cofinanciada por el Fondo de Publicaciones de la Universidad Libre

Socorro, Colombia, 2020

Printed in Colombia

UN CAMINO A LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL: PERSPECTIVA DE LA EDUCACIÓN Y LA INGENIERÍA

Primera edición: Diciembre de 2020
© Universidad Libre Seccional Socorro

Jorge Orlando Alarcón Niño
Presidente Nacional

Jorge Gaviria Liévano
Vicepresidente Nacional

Fernando Enrique Dejanón Rodríguez
Rector Nacional

Ricardo Zopó Mendez
Censor Nacional

Floro Hermes Gómez Pineda
Secretario General

Alejandro Muñoz Ariza
Director Nacional de Planeación

Elizabeth Villarreal Correcha
Directora Nacional de Investigaciones

Nelson Omar Mancilla Medina
Presidente - Rector Seccional Socorro

Eliana Ortiz Medina
Directora de Planeación Seccional

Haimar Ariel Vega Serrano
Director de Investigación Seccional Socorro

Johan Builes González
Decano Facultad de Ciencias de la Educación

Fabian Leonardo Yory Sanabria
Decano Facultad Ciencias Agropecuarias e Ingeniería

CONTENIDO

PROLOGO	11
PRESENTACIÓN	12

CAPITULO 1

Diseño de Terraza Verde Autónoma y Sostenible

1.1. Resumen	13
1.2. Introducción	13
1.3. Metodología	15
1.4. Resultados	17
1.5. Conclusiones	21
1.6. Referencias Bibliográficas	22

CAPÍTULO 2

Simulación de la Generación de Energía Eléctrica mediante Gasificación de Biomasa en Gasificador de lecho descendente a pequeña escala.

2.1. Introducción	23
2.2. Metodología	24
2.2.1. Obtención de biomasa	24
2.2.2. Análisis próximo	24
2.2.3. Análisis último	25
Gasificación biomasa	25
2.2.4. Acondicionamiento de biomasa para gasificación	26
2.2.5. Análisis de composición de gas de síntesis y carga alimentada	26
2.2.6. Simulación computacional en Apen Plus	26
2.2.7. Descripción del modelo de simulación	28
2.3. Análisis de resultado	29
2.4. Conclusiones	32
2.5. Referencias Bibliográficas	33

CAPITULO 3

Avances Tecnológicos en Módulos Fotovoltaicos y su Influencia en el Diseño de Proyectos de Energía Solar.

3.1. Resumen	35
3.2. Introducción	36
3.3. Marco teórico	37
3.3.1. Inicios de las tecnologías Fotovoltaicas	37
3.3.2. Factores que afectan la eficiencia de un sistema fotovoltaico	38
3.3.3. Tipos de tecnologías	40

3.3.4.	Paneles Policristalinos	40
3.3.5.	Paneles Monocristalinos	41
3.3.6.	Tecnología Mono PERC	42
3.3.7.	Tecnología Bifacial - Dual Glass	42
3.3.8.	Tecnología Half Cell	43
3.4.	Metodología	44
3.4.1.	Caso de estudio	44
3.5.	Conclusiones	47
3.6.	Referencias Bibliográficas	48

CAPITULO 4

Islas de Refrigeración Natural en Áreas Urbanas Tropicales. Caso de Estudio Humedal “La Vaca”

4.1.	Resumen	49
4.2.	Introducción	50
4.3.	Datos y Métodos	51
4.3.1.	Datos	52
4.3.2.	Llenado de datos en R Studio	53
4.3.3.	Llenado de datos por el método de la razón Q	54
4.3.4.	Control de calidad de datos	54
4.3.5.	Aplicación del test al proceso de homogeneización	55
4.3.6.	Variables e Instrumentos	56
4.3.7.	Interpolación	56
4.3.8.	Método Kriging	57
4.4.	Resultados	57
4.5.	Discusiones y Conclusiones	60
4.6.	Referencias Bibliográficas	61

CAPITULO 5

La Cartografía Social como Herramienta en la Planificación de Cultivos Sostenibles en Simacota Santander.

5.1.	Resumen	63
5.2.	Introducción	64
5.3.	Metodología	66
5.3.1.	Área de estudio	66
5.3.2.	Entrevistas semiestructuradas	68
5.3.3.	Cartografía social	69
5.3.4.	Datos Agroclimáticos	70
5.3.4.1.	Interpolación de la Temperatura	72
5.3.4.2.	Interpolación de precipitaciones	72
5.3.4.3.	Interpolación de la humedad relativa	72
5.3.5.	Modelo de optimización lineal (MOLCV)	73
5.3.5.1.	La función objetivo lineal	74
5.3.5.2.	Conjunto de restricciones o desigualdades lineales	75
5.4.	Resultados	76
5.4.1.	Cartografía social	76
5.4.2.	Datos agroclimáticos	77
5.4.3.	Modelo de optimización lineal (MOLCV)	80
5.5.	Conclusiones	83
5.6.	Referencias Bibliográficas	84

CAPITULO 6

La importancia de los Procesos de Investigación Académicos para la Innovación Ambiental y el Desarrollo Sostenible.

6.1.	Resumen	87
6.2.	Introducción	87
6.3.	Desarrollo de la temática	88
6.4.	Referencias Bibliográficas	92

CAPITULO 7

Tratamiento de aguas residuales de Café empleando el Proceso de Fenton.

7.1.	Resumen	93
7.2.	Introducción	93
7.3.	Materiales y Métodos	93
7.3.1.	La determinación del tiempo óptimo de separación de sólidos flotantes	95
7.3.2.	Intervalo de dosificación Fenton fase homogénea	95
7.4.	Resultados y Análisis	96
7.4.1.	Tiempo óptimo de separación y caracterización de aguas residuales	96
7.4.2.	Condiciones de dosificación el reactivo Fenton (H_2O_2/Fe^{+3}) ..	92
7.4.3.	Análisis de remoción de DQO a pH 3,9	99
7.5.	Conclusiones	101
7.6.	Referencias Bibliográficas	102

CAPITULO 8

Sistemas de captación, recolección y distribución de Aguas Lluvias “Una Perspectiva Social Sostenible en Escuela Rural

8.1.	Resumen	103
8.2.	Introducción	104
8.3.	Descripción	104
8.3.1.	Pregunta problema	105
8.4.	Justificación	105
8.5.	Estado del arte	105
8.6.	Objetivos	107
8.6.1.	Objetivo general	107
8.6.2.	Objetivos específicos	107
8.7.	Marco referencial	107
8.7.1.	Marco legal	108
8.8.	Marco Metodológico	109
8.8.1.	Localización	109
8.8.2.	Tipo y alcance de la investigación	110
8.8.3.	Definición de variable e indicadores	110
8.8.4.	Técnicas de investigación	110
8.8.5.	Materiales	110
8.9.	Resultados y Discusión	111
8.10.	Conclusiones	115
8.11.	Referencias Bibliográficas	116

CAPITULO 9

Evaluación físico-química del sistema de regulación de las aguas Termo-Minerales (Dársena LL) del municipio de Paipa - Boyacá.

9.1.	Resumen	119
9.2.	Introducción	120
9.3.	Metodología Resultados y Discusión de Resultados	120
9.4.	Resultados y Discusión de Resultados	121
9.5.	Resultados y Discusión de Resultados	127
9.6.	Anexos	127
9.6.1.	Anexo 1 Metodología del proyecto	127
9.6.2.	Anexo 2 Coliformes fecales y totales	128
9.6.3.	Anexo 3 Relación del pH, temperatura y oxígeno disuelto ..	128
9.6.4.	Anexo 4 Relación demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto	129
9.6.5.	Anexo 5 Relación sulfatos y conductividad	129
9.6.6.	Anexo 6 Relación Nitratos, Nitritos y Fosfatos	130
9.6.7.	Anexo 7 Relación color real - Aparente y Turbiedad	130
9.6.8.	Anexo 8 Relación Sólidos Totales - Suspendidos Totales y disueltos totales	131
9.6.9.	Anexo 9 Relación dureza, Alcalinidad y Conductividad	131
9.6.10.	Anexo 10 Relación de cloruros y conductividad	132
9.6.11.	Anexo 11 Relación acerca de los índices de Contaminación	132
9.7.	Referencias Bibliográficas	133

CAPITULO 10

Análisis comparativo de indicadores en la distribución urbana de mercancías bajo dimensiones de sostenibilidad. Caso de estudio en (3) ciudades principales de Colombia

10.1.	Introducción	135
10.1.1.	Medidas organizacionales y legislativas	138
10.1.2.	Medidas de manejo Territorial	140
10.1.3.	Medidas Tecnológicas	142
10.1.4.	Medidas de Infraestructura	143
10.1.5.	Medidas de restricciones de acceso	144
10.2.	Conclusiones	148
10.3.	Referencias Bibliográficas	149

CAPITULO 11

Identificación de correlaciones entre variables de estado ecoacústicas y ciclos celestes en un Bosque Perhúmedo Montano bajo del departamento de Santander.

11.1	Resumen	151
11.2.	Introducción	152
11.2.1.	Descripción del problema	152
11.2.2.	Antecedentes	153
11.2.3.	Pregunta problema	153
11.2.4.	Justificación	154
11.2.5.	Objetivo General	154

11.2.6. Objetivos Específicos	154
11.3. Metodología	154
11.3.1. Localización	154
11.3.2. Tipo de investigación	154
11.3.3. Definición	155
11.3.4. Técnicas de Investigación	155
11.3.5. Análisis Estadístico	155
11.3.6. Equipos de Medición	155
11.3.7. Población y Muestra	156
11.3.7.1. Procedimiento	156
11.4. Resultados	157
11.4.1. Horas Registradas	157
11.4.2. Procesamiento de datos	157
11.5. Discusión	161
11.6. Conclusiones	163
11.7. Recomendaciones	164
11.8. Agradecimientos	164
11.9. Referencias Bibliográficas	165

CAPITULO 12

Análisis de eficacia de la gestión del proceso de difusión de alertas por fenómenos naturales por parte del sistema nacional para la gestión del riesgo de desastres de Colombia.

12.1. Resumen	167
12.2. Introducción	167
12.3. Desarrollo	169
12.3.1. Delimitación de la zona y población de estudio	169
12.3.2. Limitantes políticas presente en el sistema	173
12.3.3. Medios y formatos utilizados para la difusión de alertas	175
12.3.4. Medios de comunicación por los cuales la sociedad recibe efectivamente las alertas ante fenómenos naturales	176
12.4. Resultados y Discusiones	180
12.4.1. Sobre las alertas generadas por las entidades del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres	180
12.4.2. Determinación de la relación entre el porcentaje de las alertas publicadas y el porcentaje promedio de acceso a los medios de comunicación y visualización de alertas en los mismos	182
12.5. Conclusiones	185
12.6. Referencias Bibliográficas	187

PRÓLOGO

La Coordinación de Investigaciones y Proyección Social de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Libre en Socorro, en desarrollo de la política de Socialización y Divulgación y comprometida con el desarrollo investigativo y científico de los Grupos de Investigación, GIECEUL y GIAM-Z, adscritos a la Universidad Libre, realizó en fecha del mes de septiembre del año 2019, el Congreso Nacional de Ingeniería y Educación y el II Encuentro de Semilleros de Investigación.

El evento tuvo como intención fortalecer la vida de los Grupos, promover su visibilidad, socializar logros y resultados de los procesos de investigación realizados por docentes profesionales e investigadores internos y externos, comprometidos con la búsqueda de alternativas desde el contexto de la educación ambiental e ingenieril, así como en generar la interlocución con la comunidad científica nacional.

En este contexto, y a través del desarrollo de 12 conferencias orientadas desde las temáticas: Recursos naturales, Sostenibilidad, Gestión del medio ambiente y Educación, sensibilización y concientización. Líneas de investigación comprometidas con los grupos de investigación adscritos a COLCIENCIAS. Así mismo, estos doce documentos productos de investigaciones desarrollados desde los diferentes contextos y dinámicas; dieron a conocer alternativas muy interesantes y estrategias para aplicar desde el ejercicio que desarrolla la ingeniería y la educación. Todo ello, visto como un aporte en la generación de la huella ambiental y a la formación de los futuros profesionales de la Universidad Libre.

Sandra Liliana Cristancho Cruz
Editora académica y científica
Líder Grupo GIECEUL

PRESENTACIÓN

La investigación desde el contexto ambiental, y en general en las ciencias ambientales se hace, quizá como en ningún otro ámbito académico, en medio de un complejo, pero fascinante espectro de saberes que tratan de dialogar en torno a esa conflictiva relación entre la sociedad y los espacios naturales y artificiales que le sirven de soporte. relación que comúnmente llamamos problemas ambientales.

Como una muestra de la productividad académica que el estudio de los problemas ambientales supone, los grupos de Investigación GIECEUL y GIAM-Z adscritos a la Facultad Ciencias de la Educación y al programa de Ingeniería Ambiental respectivamente, compila en este libro denominado: ***Un camino a la sustentabilidad ambiental: Perspectiva de la Educación y la Ingeniería***, experiencias que cada uno de los investigadores profesionales que se mencionan en este compilado participaron y compartieron en dicho espacio.

Los Grupos de investigación Gieceul y GIAM-Z, están conformados por un equipo interdisciplinario de profesionales investigadores, comprometidos socialmente con la generación de alternativas de solución a los problemas ambientales, así como con el análisis comprensión e interpretación de procesos investigativos tanto en el ámbito local como en el regional, el nacional y el internacional.

*Sandra Liliana
Cristancho Cruz
Editora académica y científica
Líder Grupo GIECEUL*

Diseño de Terraza Verde Autónoma y Sostenible

Jair Díaz Barbosa,¹

jair.diaz37@uac.edu.co

Universidad Autónoma de Caribe - UAC.

Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño. Programa de Arquitectura

1.1 Resumen

Las terrazas verdes demuestran su funcionalidad en la generación de un confort en el paisaje urbano actual, ya que las ciudades carecen de vegetación y disposición de espacios verdes con microclimas adecuados para generar actividades sociales. El sistema propuesto de terrazas verdes autónomas y sostenibles, dispone de elementos estructurales y arquitectónicos que integran las energías renovables, la hidroponía y las cubiertas tradicionales. La energía limpia generada es consumida por una bomba de agua que permite la circulación continua del agua con diferentes fertilizantes necesarios para el crecimiento y mantenimiento de la vegetación hidropónica adecuada, permitiendo así eliminar el sustrato o tierra que usualmente es necesario para su desarrollo natural, esta vegetación se debe seleccionar teniendo en cuenta las condiciones climáticas y atmosféricas del lugar a implementar. Los beneficios de este tipo de sistemas de terrazas verdes permiten generar espacios agradables para las dinámicas sociales de la comunidad, eliminar la contaminación atmosférica en las ciudades, elevar la competitividad y productividad de la región, permitiendo que la edificación aproveche los recursos naturales sin afectar las futuras generaciones como lo exige la sostenibilidad.

Palabras clave: Sostenibilidad, terrazas verdes, energías renovables, espacio público.

1.2 Introducción

El descontrolado crecimiento demográfico a nivel mundial ha traído consigo un urbanismo acelerado demostrando un desequilibrio entre el suelo urbanizado y el rural, como consecuencia a esto se presenta la concentración de núcleos geográficos en diferentes regiones en el mundo; según el informe publicado por Wilmoth, Spatolisano, & Gerland (2019), se estableció una perspectiva global del problema demográfico existente, concluyendo que la población mundial podría alcanzar su máximo punto a finales del siglo actual con un nivel de casi 11.000 millones de personas.

¹Jair Díaz Barbosa, Magister en Energías Renovables de la Universidad Federal do ABC y Doctorando en Sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Barcelona, Docente de Tiempo Completo del programa de Arquitectura de la Universidad Autónoma del Caribe, jair.diaz37@uac.edu.co

Actualmente, el 55% de la población mundial vive en las zonas urbanas, un porcentaje que aumentará el 68% para el año 2050 según el informe de las Naciones Unidas (2018). El urbanismo va en continuo crecimiento sin precedentes, las ciudades y las áreas metropolitanas son el motor de crecimiento económico, las cuales favorecen con el 60% aproximadamente del PIB mundial, no obstante, también figuran como los principales productores del 70% de las emisiones mundiales de carbono y el 60% del consumo de los recursos. Estas zonas urbanas abren el debate a nivel mundial acerca del cambio climático dado que se reunieron hallazgos científicos en donde señalaron el 2019 como uno de los años más cálidos registrados en las últimas cuatro décadas, según en su último informe de las Naciones Unidas, (2019).

El aumento y desarrollo de las ciudades se evidencia en la construcción de edificaciones. Los materiales empleados para la realización de estos edificios en ciertas ocasiones no van acordes con un estudio de ciclo de vida que se debe realizar previo a su ejecución, para que respondan a criterios sostenibles en una edificación, sin embargo, todas estas zonas urbanas densamente construidas y pobladas presentan aumento de temperaturas en comparación a las zonas rurales circundantes. Este fenómeno se le conoce como efecto isla de calor urbana (urban heat island effect), siendo directamente relacionada con la geometría urbana, la influencia del calor antropogénico, carencia de zonas verdes y las propiedades térmicas de los materiales de construcción según Evans & Schiller, (2005).

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), el confort está definido como la condición de la mente en que se expresa total satisfacción con el ambiente. Ahora bien, estos fenómenos de isla calos tienen relación con diferentes aspectos, uno de ellos es con el consumo de altas demandas de energía eléctrica debido a que en los espacios cerrados se presenta un déficit cualitativo del confort térmico, es decir, las áreas donde se desarrollan actividades no aportan un bienestar, satisfacción o comodidad para la persona, en este caso, se recurre a la implementación de sistemas de refrigeración artificial que permitan modificar, variar y mantener la temperatura del recinto.

En el verano se presentan aumento de climatización en los espacios y en las horas nocturnas se reduce el efecto de enfriamiento pasivo, es decir, las ventilaciones nocturnas se basan en la implementación del aire fresco para disminuir la temperatura del espacio interior. Según N. B. Geetha, (2012). Sin embargo, en el invierno, sus efectos son positivos dado que se reducen las temperaturas y el uso de aires acondicionados, no obstante, esto depende directamente del conjunto de las condiciones atmosféricas del lugar o la ciudad.

En el marco de la Nueva Agenda Urbana- Hábitat III (2016), consideran reducir el consumo de energías de fuentes no renovables y promover el uso de energías limpias en una edificación para mantener el confort de los espacios urbano arquitectónico logrando una eficiencia energética.

Del mismo modo, la Agenda 2030 con los Objetivos de Desarrollo Sostenible- ODS, en el Objetivo 7 hace referencia en la implementación de energías sostenible como una oportunidad de transformar vidas y economía para el planeta, así mismo, es un eje importante para contrarrestar el aumento en el

calentamiento global. Dentro de sus metas se evidencia el manejo de energías limpias en donde se incluyan fuentes renovables, resaltando la eficiencia energética de una infraestructura dentro de la ciudad y la calidad de vida de las personas.

La formulación de normativas colombianas en cuanto a sostenibilidad se refiere, se encuentra en continuo avance, con un estado voluntario en su aplicabilidad y para ciertos casos específicos. El decreto 1077 en el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, de libro 2 del año 2015 del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, estipulando y promoviendo el uso de los recursos naturales de una forma consciente para generar el menor impacto negativo a futuras generaciones incentivando la construcción sostenible, formulando la implementación de los lineamientos de construcción sostenible, seguimiento, incentivos, rigor subsidiario de obligatoriedad a las medidas adoptadas.

De esta manera se propone la implementación de una terraza verde autónoma y sostenible; como preliminar se deben analizar las características térmicas medioambientales, por medio de una alternativa en contribuir al manejo de las energías renovables integrando una fuente solar fotovoltaica para la generación de energía eléctrica, además, la utilización de cobertura vegetal en esta terraza, disminuyendo la temperatura dentro de un espacio determinando, mejorando la habitabilidad y el confort con un bajo consumo energético, proporcionando un ambiente agradable a los transeúntes y ocupantes.

1.3 Metodología

Las terrazas verdes son ecosistemas implantados sobre una cubierta, generando construcciones sustentables que traen consigo beneficios en las edificaciones y su entorno. A través de los ecosistemas urbanos en las edificaciones, se logra un cambio en su flujo de energía, permitiendo mitigar parcialmente los impactos ambientales según el estudio realizado a diferentes hoteles en clima cálido húmedo por Zielinski, Collante, & Paternina, (2012). El sistema de terrazas propuesto, contentla la implementacion de cultivos hidropónicos en los cuales no se hace necesario el uso sustrato o suelo y las plantas crecen en una solución nutritiva. La palabra Hidroponía se deriva del griego Hidro (agua) y Ponos (Trabajo) lo cual significa trabajo en el agua. Según Gimenez, (2015), esta técnica fue empelada por los aztecas, la primera civilización en el territorio americano en usar la agricultura hidropónica como un sistema de producción y supervivencia, estos se asentaron a las orillas pantanosas del Lago Tenochtitlán, ubicado en el gran valle central, actualmente México. Debido a la falta de tierra cultivable, desarrollaron un cultivo de plantas en medios líquidos, mediante materiales artesanales, con cañas o palos, diseñaron unas balsas las cuales se llamaban Chinampas, para el trabajo del cultivo, dragaban la tierra en el fondo del lago la cual era enriquecida en nutrientes y restos orgánicos, luego ubicaban las balsas y sobre ellas se cultivaban las verduras y algunas flores. Estos cultivos les proporcionaban a lo largo de las estaciones del año el alimento que necesitaban para el consumo.

La cubierta verde autónoma y sostenible propuesta en el presente artículo propone una metodología diferente a la convencional, con una técnica que se puede aplicar en nuestro país dado por su costo relativamente bajo, su peso reducido y porque requiere poco mantenimiento. Para lograr que esta funcione de manera eficiente es necesario cambiar tres principales componentes técnicos de una cubierta intensiva.

1. Primero, el método que usualmente se emplea para el drenaje se realiza con grava, este debe remplazarse por sistemas livianos, estos pueden ser láminas de policarbonato.
2. Segundo, el sustrato o medio de crecimiento debe tener un espesor de 3 a 10 cm como máximo y debe estar constituido por un material diferente a la tierra negra, en este caso, debe ser sustituido por una solución nutritiva A concentrada en fosfato mono amónico, nitrato de calcio y nitrato de potasio, y otra B concentrada en sulfato de magnesio, sulfato de cobre, sulfato manganeso, sulfato de zinc, ácido bórico, molibdato de amonio y quelato de hierro. Estas soluciones diluidas en agua al 50% deben estar en movimiento constante para permitir la correcta oxigenación y reducir la aparición de vectores y enfermedades que transmiten.
3. La cobertura vegetal debe consistir en especies de bajo porte con raíces superficiales, estas deben estar sumergidas en la solución nutritiva y estar sujetas a los orificios de la bandeja por el cuello de las plantas.

Estas plantas deben tener la capacidad de adaptarse a las condiciones climáticas extremas y resistir a periodos de sequía, vientos y humedad (estos aspectos se han definido teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la ciudad de Barranquilla y la georreferenciación de la Universidad Autónoma del Caribe).

4. Teniendo en cuenta la implementación de energías renovables en el ámbito de la sostenibilidad, el sistema de cubiertas verdes, integra una fuente solar fotovoltaica para la generación de energía eléctrica necesaria para lograr accionar el mecanismo del bombeo continuo de agua, de esta manera, se mantiene hidratada la vegetación expuesta sobre la cubierta. No obstante, se garantiza la autonomía del sistema, debido que durante las horas del día el panel solar fotovoltaico recibe y capta la mayor cantidad de radiación del sol, correspondiente a las 10:00am y 4:00pm, generando energía eléctrica para mantener el sistema en constante funcionamiento, además, en las horas del día ayudará a disminuir la temperatura del espacio, proporcionando un confort térmico para los transeúntes y ocupantes.

Estos últimos tres componentes abren tres líneas de investigación sobre el comportamiento y como se debe aplicar en nuevos sistemas de cubiertas verdes para nuestro contexto nacional, teniendo en cuenta que para cada región o ciudad se debe realizar un análisis de los diferentes tipos de vegetación que se pueden implementar con respecto a las condiciones climáticas.

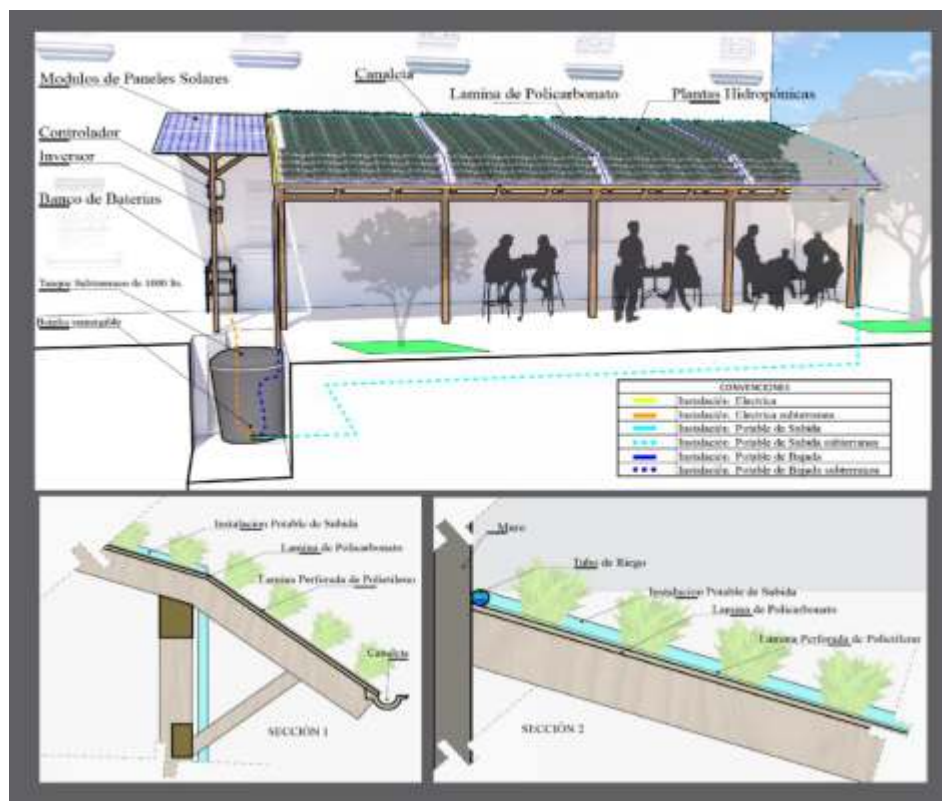


Figura 1 Esquema del sistema de cubiertas verdes autónomas y sostenibles.
Fuente: Autores

1.4 Resultados

El diseño arquitectónico a modo de ejemplo de una terraza verde de 77,10m², describiendo los elementos estructurales en el corte transversal, exponiendo los diferentes niveles de organización y funcionalidad, utilizando un sistema estructural de vigas y columnas de madera, seguido de una losa liviana, en donde se encuentra el cultivo hidropónico de plantas que solo necesitan agua y disoluciones minerales. Se utilizarían paneles fotovoltaicos para generar la energía eléctrica el cual ayuda al movimiento de bombeo continuo de agua, empleando un tanque de abastecimiento para almacenar el agua necesaria para el riego.

Se expone la imagen de una proyección foto realista en 3D la cual muestra la implementación de las terrazas en un espacio, observando la estructura en madera y como la vegetación ornamental la zona utilizada.

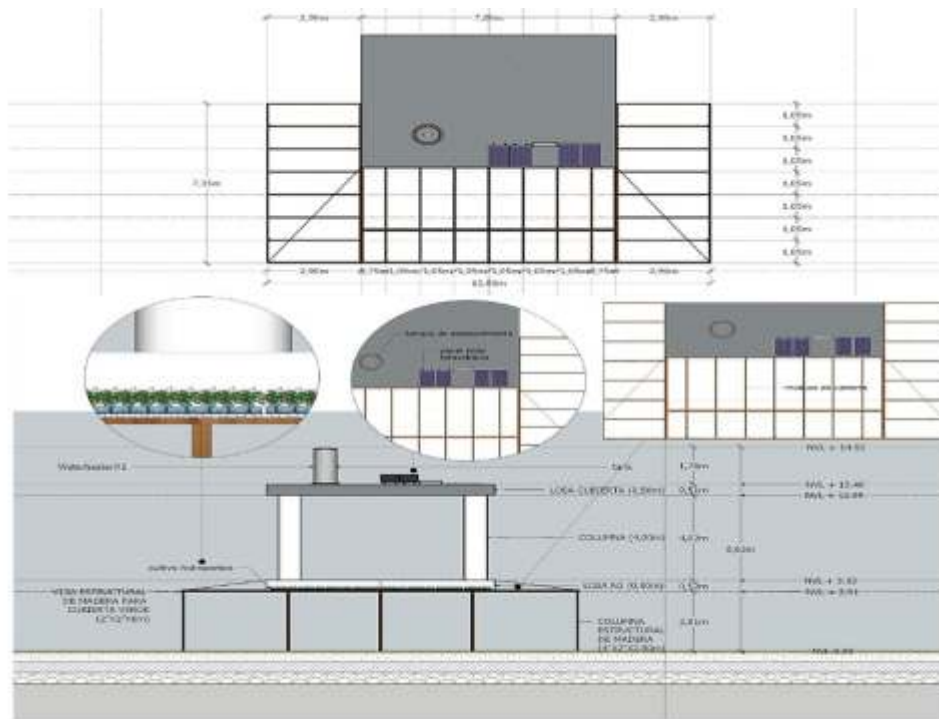


Figura 2 Planta y Corte -sección transversal de diseño de cubierta verde autónoma y sostenible.
Fuente: Autores



Figura 3 Visualización del espacio con el sistema de terrazas verdes autónomas y sostenibles.
Fuente: Autores

Las actividades para la construcción del sistema de terrazas verdes consisten en la descripción inicial de actividades preliminares las cuales corresponden a la definición de la localización, el esquema de diseño arquitectónico, diseño estructural y la adecuación y limpieza del terreno.

Para la operación del sistema se describe en la estructura con su correspondiente tipo de anclaje en las bases de las columnas, instalación de columnas, instalación de vigas principales, instalación de largueros y reforzar la estructura; la cubierta corresponde a la instalación de láminas de policarbonato, instalación de láminas de acrílico en los laterales generando una barrera para contener el agua del sistema y reforzar la cubierta; la instalación hidráulica corresponde a la elección del tanque de agua, bomba de agua, instalación de captación y la instalación de distribución; para la vegetación corresponde a la instalación de las bandejas contenedoras en sus cavidades y la respectiva instalación de la vegetación; y la instalación eléctrica que corresponde a la elección del panel solar fotovoltaico adecuado para funcionar la bomba de agua, el regulador de voltaje, el inversor de corriente y la debida red eléctrica.

A continuación se describe en la (Tabla 1). El análisis de precios unitarios de la construcción de un metro cuadrado de la terraza verde propuesta como autónoma y sostenible. Estos precios están sujetos al mercado del año 2018 y a modo de ejemplo para la relación del proceso constructivo se describe para una terraza de 77,10m².

Recursos	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total \$
Estructura				
Pie de anclaje cerrado acero galvanizado	Con pletina	7	\$90.000	630000
Tornillos para pie de anclaje	1"	56	\$3.000	168000
Columnas en madera	2"x 4"x 2,80m	7	\$70.000	490000
Pie de anclaje en l acero galvanizado	Con pletina	7	\$90.000	630000
Tornillos para pie de anclaje en l con arandela	1"	56	\$3.000	168000
Cable de acero plastificado	1/8 pulg 5 metros	5	\$10.900	54500
Vigas principales en madera	2"x2"x6m	28	\$47.000	1316000
Herramientas	Unidad	3	\$680.000	2040000
Mano de obra (1 maestro, 1 oficial y 1 raso)	M2	77,11	\$130.000	10024300
Cubierta				
Láminas de policarbonato	2,95 x 2,10 x 0,6	15	\$239.900	3.598.500
Kit conector omega	5,90m	8	\$20.900	130.000
Perfil en u	2,10 x 0,8	7	\$13.600	95.200
Impermeabilizar (manto asfáltico)	Rollo	2	\$130.000	260.000
Impermeabilizar (membrana)	1 galón	10	\$142.000	1.420.000
Adhesivo de montaje	Tubo 360gr	5	\$19.900,00	99.500
Herramientas	Unidad	3		

Mano de obra (1 maestro y 2 rasos)	M2		77,11	\$125.000	9.638.750
Instalación hidráulica					
Tanque de agua	1000lt		1	\$394.000	394.000
Bomba de agua Evans 60w, h-2,8m	0,10 hp, 127v		2	\$150.000	300.000
Canaleta de captación	21m		7	\$72.100	504.700
Tapas de canaleta	Un		2	\$4.600	9.200
Adaptador de bajante	Un		1	\$5.500	5.500
Adaptador macho	¾"		1	\$8.400	8.400
Tornillos para asegurar la canaleta	6x1pulg		100	\$3.300	330.000
Tubo presión 9-500 psi Pavco	1/2x6m		10	\$11.900	119.000
Tapón	Un		1	\$200	200
Herramientas	Unidad		2	\$320.000	640.000
Mano de obra 1maestro y 1 raso	M		50	\$90.000	4500000
Vegetación					
Bandeja de 120 cavidades	55x29x5		70	\$8.400	588.000
Vegetación	Plantas		8400	\$200	1.680.000
Mano de obra	M2		77,11	\$90.000	6.939.900
Instalación eléctrica					
Panel solar fotovoltaico	320w policristalino jinko	12vdc	1	\$1.000.000	1000000
Batería	Agm 12vdc sellada mtek	155ah	2	\$600.000	1200000
Controlador	Mppt 30a-12vdc/24vdc victron		1	\$600.000	600000
Inversor solar plus	1500w onda pura v		1	\$250.000	250000
Rack para baterías	Un		1	\$500.000	500000
Soporte para panel	Un		1	\$306.000	306000
Elementos de instalación	Un		1	\$100.000	100000
Mano de obra	Un		1	\$500.000	500000
Transporte					\$800.000
Total					52.037.650

Costos directos

Ítem	Actividades	Unidad	Cantidad	Precio unitario \$	Total \$
2. Construcción					
2.1	Estructura	Un	1	\$15.520.800	\$15.520.800
2.2	Cubierta	Un	1	\$15.241.950	\$15.241.950
2.3	Instalación hidráulica	Un	1	\$6.811.000	\$6.811.000
2.4	Vegetación	Un	1	\$9.207.900	\$9.207.900
2.5	Instalación eléctrica	Un	1	\$4.456.000	\$4.456.000
2.6	Transporte	Un	1	\$800.000	\$800.000
3. Aseo					
3.1	Aseo final	Un	1	\$100.000	\$100.000
Total, costos directos					\$51.297.650

Costos indirectos

Costos indirectos	
AIU =	20%
Administración: costo directo * 9%	\$4.683.390
Imprevistos = costo directo * 1%	\$520.377
Utilidad = costo directo * 10%	\$5.203.765
Costo total	
Costo Total = Costos Directos + Costos Indirectos	\$62.445.180

Fuente: Autores.

1.5 Conclusiones

- La implementación de las terrazas verdes autónomas y sostenibles propuestas anteriormente generan diferentes beneficios en lo ambiental, económico y social.
- Los beneficios ambientales se consideran la reconstrucción del paisaje natural, la reducción de la contaminación del agua lluvia, el control del agua lluvia y las precipitaciones, el mejoramiento de la calidad del aire, el confort térmico, la mitigación del efecto isla calor y el aumento de la biodiversidad.
- Los beneficios económicos se ven reflejados en la generación de industria y mercado de cubiertas verdes y la creación de nuevos empleos en producción, diseño, instalación y otros servicios, la adopción de sistemas de terrazas verdes en oportunidades de negocio, los altos costos en la inversión inicial pero recuperados a mediano plazo, aumento en la durabilidad de la terraza, reducción en los gastos de servicios públicos y una competitividad reflejada en nuevos espacios productivos.
- Los beneficios sociales se describen en el alivio visual con la integración del edificio con entornos naturales y variadas posibilidades de diseño; transformar visualmente los techos tradicionales de los edificios industriales y comerciales en espacios placenteros; contribuye con la mejora de la calidad del aire, reduciendo los niveles de contaminantes y aportando oxígeno; influye en el confort térmico, físico, mental de los transeúntes.

1.6 Referencias Bibliográficas

- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2018). Estrategia para la Implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia. Bogotá D.C.:
- Departamento Nacional de Planeación. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017). Boletín Técnico, Producto Interno Bruto. Bogotá D.C.: Dirección de Síntesis y Cuentas Nacionales.
- Evans, J. M., & Schiller, S. d. (2005). LA ISLA DE CALOR EN CIUDADES CON CLIMA CALIDO-HUMEDO . Buenos Aires - Argentina: Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente .
- Gimenez, J. B. (2015). Cultivo en hidroponía . Universidad de la Plata.
- Kolokotsa, H. A. (2016). «Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research,» Energy and Buildings, vol. 133, pp. 834-842.
- Martinez, Z. M. (2017). El Espacio Público, Ciudad y Ciudadanía. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- N. B. Geetha, R. V. (2012). Passive cooling methods for energy efficient buildings with and without thermal energy storage A review. Chennai, India: Anna University, Institute for Energy Studies, College of Engineering.
- Naciones Unidas . (2016). Nueva Agenda Urbana, Hábitat III. Quito : Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (16 de Mayo de 2018). Naciones Unidas- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Obtenido de Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo:
<https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- Naciones Unidas. (2019). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Nueva York : Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (2019). Report of the secretary- General on the 2019 Climate Action Summit and The Way Forward 2020. Naciones Unidas.
- Naciones Unidas- Cepal . (2018). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago : Naciones Unidas.
- P. Romero-Lankao, H. Q.-C. (2013.). «Exploration of health risks related to air pollution and temperature in three Latin American cities,» Social Science & Medicine, vol. 83, pp. 110-118.
- The Chartered Institution of Building Services Engineers London. (2008). CIBSE Concise Handbook. Norwich - Inglaterra : Great Britain by Page Bros (Norwich) Ltd.
- Wilmoth, J., Spatolisano, M.-F., & Gerland, P. (2019). Perspectivas de la Población Mundial 2019: Puntos destacados . Nueva York- Estados Unidos : DAES- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU.
- Zielinski, S., Collante, M. A., & Paternina, J. C. (2012). Techos verdes: Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta? Bogotá - Colombia: Gest. Ambient., Volumen 15, Número 1, p. 91-104.

Simulación de la Generación de Energía Eléctrica Mediante Gasificación de Biomasa en Gasificador de Lecho Descendente a Pequeña Escala.

Laura V. Martínez¹, Jairo E. Rubiano², María F. Gómez³
maria.gomez@unisabana.edu.co; laura.martinez8@unisabana.edu.co; jairo.rubiano@unisabana.edu.co
Grupo de Investigación Energía, Materiales y Ambiente.
Universidad de La Sabana, Campus Universitario

2.1. Introducción

Las fuentes de biomasa residual agrícola a nivel nacional son variadas y se estima que se generan alrededor de 72 millones de toneladas por año con un potencial energético cercano a 332.000 TJ (Escalante, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2011). El aprovechamiento nacional de biomasa se ha centrado principalmente en residuos leñosos y bagazo de caña de azúcar, con una participación en la generación eléctrica nacional de tan solo un 0,01% para finales del 2016, lo que indica un amplio espacio para la inclusión de nuevos recursos como raquis de maíz, objeto del presente estudio (UPME, 2016). La utilización de esta biomasa residual en procesos como la gasificación, representa una de las alternativas más prometedoras para la producción de energía a pequeña escala que contribuye a la sustitución parcial de los combustibles fósiles y la reducción de emisiones ambientales (Biagini, Barontini, & Tognotti, 2015a; García, Pizarro, Lavín, & Bueno, 2012). Durante la gasificación, la biomasa es convertida en gas de síntesis compuesto principalmente por monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano e hidrógeno, que puede ser utilizado para la producción de energía térmica o eléctrica (Fortunato, Brunetti, Camporeale, Torresi, & Fornarelli, 2017). Durante los últimos años, la gasificación en lecho fijo de flujo descendente ha sido el centro de investigación en torno a la generación de energía eléctrica a pequeña escala. La investigación de gasificación de raquis de maíz en el país es limitada. En función de este contexto surge la siguiente pregunta ¿Cuáles son las condiciones operativas del equipo de gasificación de flujo descendente a pequeña escala que garantizarán la mayor producción de energía eléctrica en el proceso de gasificación de raquis de maíz?

Para el desarrollo del proyecto investigativo que se desarrollará a continuación se plantea el siguiente objetivo general:

Comparar la generación de energía eléctrica y la composición del gas de síntesis producido en el proceso de gasificación de raquis de maíz predicha por un modelo matemático desarrollado en Aspen Plus, frente a los valores observados experimentalmente en la operación de un gasificador de lecho fijo, corriente descendente a pequeña escala.

Para alcanzar este objetivo, se siguen los objetivos específicos que se listan a continuación:

Generar un modelo de simulación desarrollado en el software Aspen Plus que permita predecir la producción de energía eléctrica y la composición del gas de síntesis evaluando el efecto de la temperatura del reactor y la relación de equivalencia.

Comparar los valores de producción de energía eléctrica y la composición del gas de síntesis arrojados por el modelo de simulación frente a datos experimentales de la operación del gasificador, así como datos reportados en la literatura para procesos similares.

2.2. Metodología

2.2.1. Obtención de biomasa

La biomasa utilizada fue el raquis de maíz blanco obtenido de actividades de desgrane en la principal Central de abastos de Bogotá, Colombia CORABASTOS. La biomasa fue recolectada y transportada a un invernadero situado en los laboratorios de Ingeniería de la Universidad de La Sabana, en Chía, Colombia a una altitud de 2.564 m, temperatura media de 18 °C donde se llevó a cabo el estudio. La recolección de las muestras de biomasa se realizó en diferentes temporadas del año, por lo que el contenido de humedad varió entre el 40-60% conforme a las condiciones climáticas de recolección y almacenamiento.

2.2.2. Análisis próximo

El análisis próximo se llevó a cabo utilizando el equipo METTLER TOLEDO TGA/DSC 1 STARE System disponible en el laboratorio de la Universidad de La Sabana. Se utilizaron muestras en un rango de masa de 20-23mg y se llevaron a cabo los experimentos por triplicado bajo la norma ASTM D7582-15. La (Tabla 1) resume los parámetros medidos y la norma utilizada para dicho fin en donde: M: Humedad, MV: Materia volátil, Z: Cenizas, CF: Carbono Fijo, W₀: Masa inicial de la muestra, WMT: Masa de la muestra seca después del test de humedad, WMVT: Masa de la muestra después del calentamiento en el test de materia volátil, WZT: Masa de la muestra después del calentamiento en el test de cenizas.

Tabla 1 Análisis próximo para los raquis de maíz blanco y normativa empleada

Componente	Técnica	Ecuación	(% Base seca)	(Base húmeda)
Humedad (M)	ASTM D7582-15	$M = \frac{W_0 - W_{MT}}{W}$	0	23.57
Materia volátil (MV)	ASTM D7582-15	$M = \frac{W_{MT} - W_{MVT}}{W_0}$	82.09	62.76
Cenizas (Z)	ASTM D7582-15	$Z = \frac{W_{ZT}}{W_0}$	2.72	11.61
Carbono Fijo (CF)	Cálculo por diferencia	$CF = 1 - M - Z - MV$	15.19	2.08

2.2.3. Análisis último

Para la determinación de carbono, hidrógeno y nitrógeno se utilizó el analizador Truspec marca LECO bajo la norma ASTM D3176-09 y el azufre bajo la norma ASTM D4239-14e2. El porcentaje de oxígeno fue determinado por diferencia. Los resultados del análisis último se observan en la (Tabla 2).

Tabla 2 Análisis próximo para los raquis de maíz blanco y normativa empleada

Componente	(% base seca)	(% base húmeda)
Hi drógeno	5.9	4.51
Ni trógeno	0.76	0.58
Azufre	0.05	0.04
Carbono	46.92	35.87
Oxígeno	43.65	40.92

Fuente: Autor

Gasificación de biomasa

El equipo de gasificación usado en este estudio correspondió a un sistema a escala piloto de lecho fijo - Downdraft de la compañía ALL Power Labs, California, USA, acoplado a un motor de combustión interna y un generador (Figura 1). El sistema consta de 4 etapas posteriores al acondicionamiento de la biomasa:

- Alimentación de biomasa.
- Gasificación de biomasa.
- Acondicionamiento o limpieza de Gas de síntesis.
- Generación eléctrica.

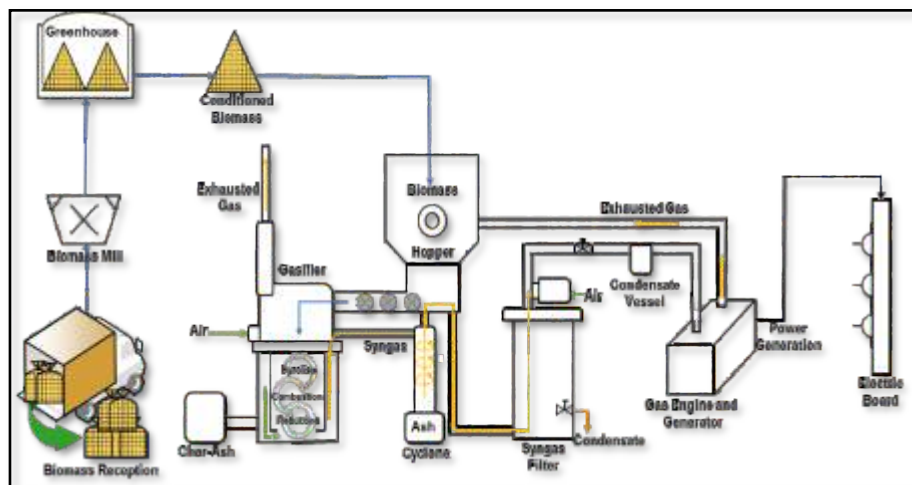


Figura 1 Esquema del sistema de gasificación de lecho fijo - corriente descendente usado en la experimentación

Fuente: Autor

2.2.4. Acondicionamiento de biomasa para gasificación

La obtención del material utilizado para la gasificación se realizó en dos etapas. La primera contempló la reducción de tamaño de partícula de la biomasa mediante herramienta de corte manual hasta obtener una fracción con el tamaño de partícula sugerido por el fabricante del gasificador (gruesos: 10 - 40 mm). En la segunda, se realizó un proceso de molienda en procesador industrial Trapp Tr200 hasta alcanzar biomasa de tamaño de partícula <10 mm (finos). Las fracciones fueron separadas y secadas en invernadero durante 60 días hasta obtener una humedad inferior al 30%. Una vez preparadas las fracciones, se realizó la mezcla con una proporción de 85% de gruesos (tamaño recomendado) y 15% finos basados en los resultados obtenidos previamente en un estudio por (Martínez, Rubiano, Figueredo, & Gómez, 2018), donde se evidenció que un contenido de finos del 15% en la mezcla de biomasa generaba mayores perfiles de temperatura, representados en mayores concentraciones de H₂ y CO en el gas de síntesis.

Antes de cada ensayo, se tomó una muestra aleatoriamente por cada tratamiento y se llevó a tamaño de partícula < 1mm mediante molino Referencia fino MF 10 Basic, IKA ®. El cálculo de humedad se realizó por triplicado bajo la norma DIN 51718, en horno de secado a 106 °C hasta no detectar cambios de masa. El contenido de humedad se calculó según la Ecuación 1 (Rincón, Gómez, & Klose, 2011).

Ecuación 1 Determinación de humedad de la biomasa

$$HR = \frac{m_0 - m_f}{m_0}$$

Donde HR: Humedad relativa (%), m_0 : masa inicial de la biomasa, m_f : masa final de la biomasa.

2.2.5 Análisis de composición de gas de síntesis y carga alimentada

El gas producido en el proceso de gasificación fue analizado mediante un analizador portátil de gas infrarrojo (Gasboard-3100P, Wuhan Cubic Optoelectronics Co., Ltd., China) conectado a la salida del filtro. La toma de la muestra se realizó por triplicado durante el procedimiento de gasificación antes y después de encendido del motor. La muestra se extrajo mediante una bomba pequeña acoplada al motor del tornillo sinfín. Las pruebas fueron realizadas a través de la contratación del servicio de análisis de gases de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Las composiciones detectadas por el medidor son hidrógeno (H₂), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), oxígeno (O₂) y CnHm. Así mismo, el medidor suministró el valor del poder calorífico del gas en MJ/kg. La salida de la potencia eléctrica generada fue medida en kWh mediante la conexión directa a la red.

2.2.6. Simulación computacional en Aspen Plus

El sistema de gasificación de raquis de maíz se modeló en Aspen Plus V7.3 mediante un modelo basado en la minimización de la energía libre de Gibbs. El sistema de gasificación contempló 5 etapas globales: Acondicionamiento de la biomasa, Secado, de volatilización, gasificación y generación de potencia eléctrica. La (Figura 2) ilustra las etapas del modelo de simulación. Para la definición de los flujos de las corrientes, se utilizó la clase MIXED para flujos gaseosos o líquidos. Y la clase NCPD para sólidos no convencionales como la biomasa (por su naturaleza residual y composición variada), y los residuos de la combustión (CHAR-ASH) (residuos obtenidos del proceso de gasificación). La estimación de las propiedades físicas y químicas (Entalpía, densidad, capacidad calorífica) de los componentes no convencionales (BIOMASS y CHAR-ASH) fueron hallados por los modelos HCOALGEN y DCOALIGH al ingresar el análisis último y próximo para el raquis de maíz. Se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones en el desarrollo del modelo (Adeyemi & Janajreh, 2014; Damartzis, Vamvuka, Sfakiotakis, & Zabaniotou, 2011; Formica, Frigo, & Gabbrielli, 2016; Li & Suzuki, 2010; Ramzan, Ashraf, Naveed, & Malik, 2011; Vera, De Mena, Jurado, & Schories, 2013):

- La operación se desarrolló en estado estacionario.
- La biomasa está constituida elementalmente de carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre.
- El tamaño de partícula se estableció con base en el análisis estadístico del diseño experimental planteado.
- No se consideró el efecto de la caída de presión dentro del sistema.
- Las cenizas no son involucradas en ninguna reacción dentro del sistema.
- La masa de cenizas en la biomasa se conserva en el Char-ash (carbonizado).
- El agente oxidante (aire) convirtió el carbono contenido en la biomasa en gas de síntesis, material carbonizado y alquitrán.
- Se eliminó la fracción de carbono contenida en el Char-ash que no fue convertida en gas de síntesis.
- El nitrógeno y azufre fueron considerados como inertes.
- El gas de síntesis está compuesto exclusivamente de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), oxígeno (O₂) y nitrógeno (N₂).
- Las reacciones de craqueo de alquitranes no fueron incluidas en el desarrollo del modelo. Se retiró su equivalente en masa asumiendo una conversión del 20% p/p de la biomasa en alquitrán con una composición de 60% de benceno, 20% de tolueno y 20% de naftaleno.

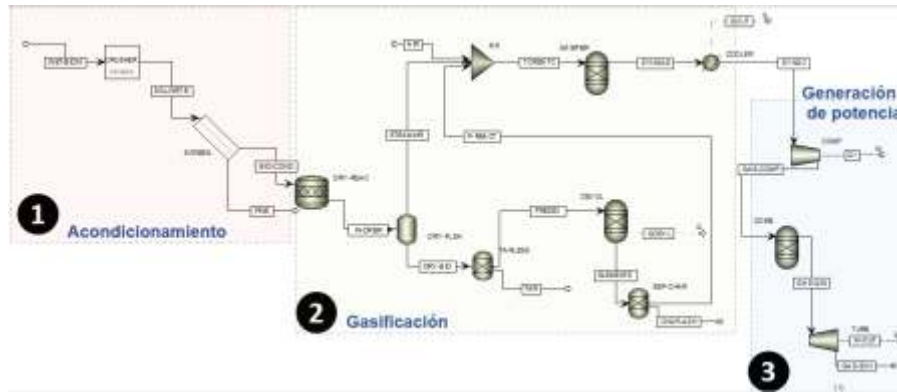
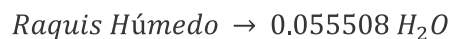


Figura 2 Diagrama de flujo de planta de gasificación de raquis de maíz blanco.
Fuente: Autor

2.2.7. Descripción del modelo de simulación

La etapa de secado del modelo consistió en dos bloques, el primero es un reactor estequiométrico en el que la biomasa con el tamaño de partícula deseado ingresa, cumpliendo la relación de secado expresada en la Ecuación 2. Este tratamiento fue necesario, ya que la biomasa, siendo un componente no convencional, es considerada por el software como una sustancia de peso molecular unitario. Posteriormente, la corriente de vapor y la biomasa completamente seca se separan en una unidad flash.

Ecuación 2 Relación estequiométrica para el secado de componente no



La etapa de volatilización inicia con la separación del 20% en masa, equivalente a una composición de alquitranes formada por 60% Benceno, 20% tolueno y el restante en naftaleno (Damartzis et al; 2012) agrupados en la corriente TAR. Posteriormente, la biomasa restante ingresa a un reactor de rendimiento (Bloque TARLESS) en donde la biomasa seca es transformada en los componentes que participarán de las reacciones de gasificación (C, H₂, O₂, N y S) así como el componente CHAR-ASH que posteriormente será separado en el bloque SEP-CHAR. Se asumió que todas las cenizas contenidas en la biomasa abandonarían el reactor junto con los carbonizados, para dar cumplimiento al balance de materia.

El vapor de agua generado en la etapa de secado STEAMAIR, el flujo de aire necesario para la combustión incompleta de la biomasa (corriente AIR); calculado con una ER=0.24 y los componentes separados de la biomasa, ingresan al bloque GASIFIER, que consiste en un reactor de equilibrio (Násner et al., 2017), que minimiza la energía libre de Gibbs en donde las condiciones de convergencia están dadas para favorecer cuatro reacciones mínimas de gasificación, linealmente independientes que garantizarán la composición del gas del síntesis deseado. Ya que en la operación real del equipo, el gas obtenido se recircula, con el fin de aportar energía para el secado de la biomasa, se generó en bloque COOLER, cuya función es simular el aporte de energía del gas para el secado de la biomasa antes de ingresar al reactor.

El gas refrigerado ingresa entonces a los bloques de simulación del ciclo de Otto, consistentes en una etapa de compresión politrópica (bloque COMP), en donde se lleva el gas hasta la relación de compresión del motor (9.5), posteriormente, un reactor de equilibrio que generará los productos de combustión (bloque COMB), simulando la etapa de adición de calor y finalmente, la generación de potencia eléctrica (bloque TURB) que se simuló como una etapa de expansión politrópica, que entrega la potencia generada.

2.3. Análisis de resultado

La validación del modelo presentado se realizó a partir de datos experimentales obtenidos con una condición de tamaño de partícula de 85% de tamaño entre 10-40 mm. La (Figura 3) muestra la comparación de los datos experimentales y el modelo de simulación sobre la composición de gases y la potencia generada por el motor de combustión interna a temperatura de 750°C y ER: 0,24. Se observó que, el modelo desarrollado es capaz de representar los datos obtenidos experimentalmente y coincide con valores obtenidos por autores como Arun et al., (2016)(Arun & Ramanan, 2016) y Biagini et al., (2015) (Biagini, Barontini, & Tognotti, 2015) para la gasificación de raquis de maíz blanco, con desviaciones del 1.3%, 3.7% y 0.6% para las concentraciones de CH₄, CO e H₂ respectivamente. De lo anterior se puede inferir, que a pesar de que los modelos de equilibrio termodinámico presentan algunas limitaciones termodinámicas, estas limitaciones no se evidencian en plantas a pequeña escala donde los modelos como el presentado en este estudio, pueden representar adecuadamente los datos experimentales del proceso de gasificación (Násner et al., 2017) (Adeyemi & Janajreh, 2014).

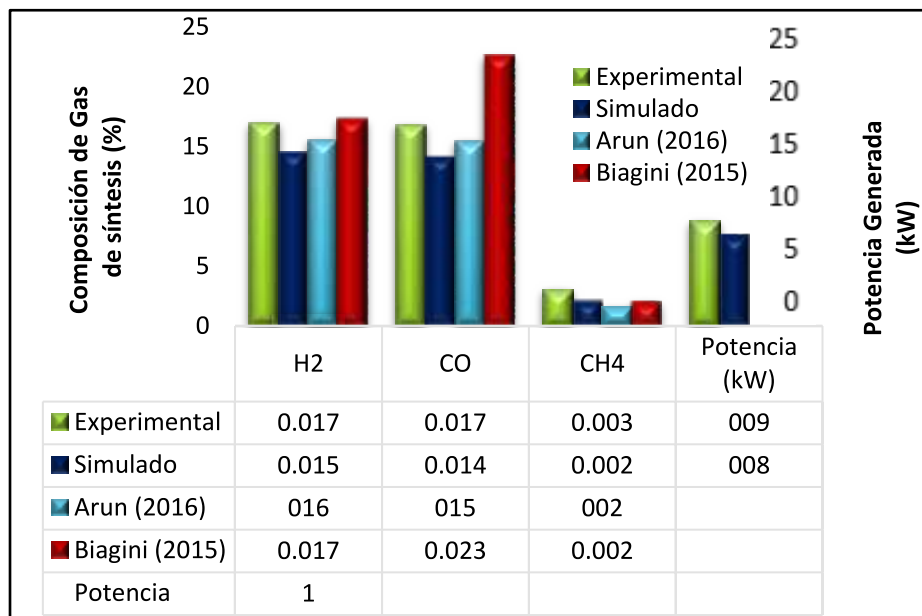


Figura 3 Composición de gas experimental y predicho (modelo).
T: 750°C, ER:0.24
Fuente: Autor

Se realizó la variación de temperaturas y ER, evaluando su efecto sobre la concentración molar de H_2 , CO y CH_4 y la potencia generada por un motor de combustión interna. La (Figura 4) muestra los resultados de las concentraciones obtenidas a través de un análisis de sensibilidad con temperaturas entre 500 y 1000 °C, flujo de alimentación de biomasa: 18 kg/h y ER: 0.24. Se observó una tendencia de incremento con la temperatura en las concentraciones de H_2 y CO_2 . La (Figura 5) muestra los resultados obtenidos a través de un análisis de sensibilidad variando los valores de ER entre 0.2 y 0.5, con flujo constante: 18 kg y temperatura de 800 °C. Lo anterior se puede asociar a que, a medida que la temperatura incrementa, el carbono que no ha reaccionado se convierte en monóxido acorde a la reacción de Boudouard y el metano presente en el gas se convierte en hidrógeno por reacción de metanación, lo que se ve representado en aumento de la concentración de estas especies en el gas de síntesis (Ramzan et al., 2011). Dichos resultados concuerdan con estudios realizados por Arun et al., (2016) (Arun, Venkata Ramanan, & Sai Ganesh, 2016) y Chaurasia et al., (2016) (Chaurasia, 2016), quienes evaluaron la influencia de la temperatura de reacción sobre la gasificación de raquis de maíz blanco y cascarilla de arroz respectivamente. Los autores reportaron que a medida que incrementaba la temperatura, se observaba un incremento en el contenido de H_2 y CO para los raquis de maíz blanco y de CO para la cascarilla de arroz.

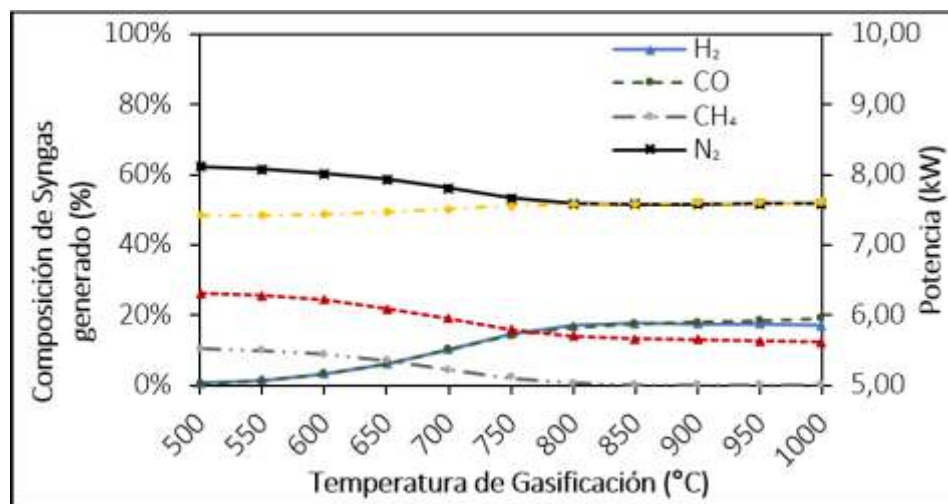


Figura 4 Efecto de la temperatura de gasificación sobre la fracción molar (%) de H_2 , CO y CH_4 y la potencia generada (kW).

Fuente: Autor

Por otro lado, se observó que a medida que realizó un incremento en el ER, disminuyeron las concentraciones de H_2 , CO y CH_4 , ya que un mayor contenido de oxígeno favorece la reacción de combustión completa generando mayor concentración de CO_2 y caídas en la concentración de CO . Mientras que, con valores menores de ER, se favorece la producción de CO a través de la reacción de Boudouard (Srirangan, Akawi, Moo-Young, & Chou, 2012) que se ve representado en el aumento del poder calorífico inferior del gas de síntesis (MJ/Nm³). Autores como Damartzis et al., (2012) (Damartzis et al., 2012) y Nasner et al., (2017) (Násner et al., 2017) observaron el mismo comportamiento para la gasificación de granos de oliva y residuos sólidos municipales respectivamente.

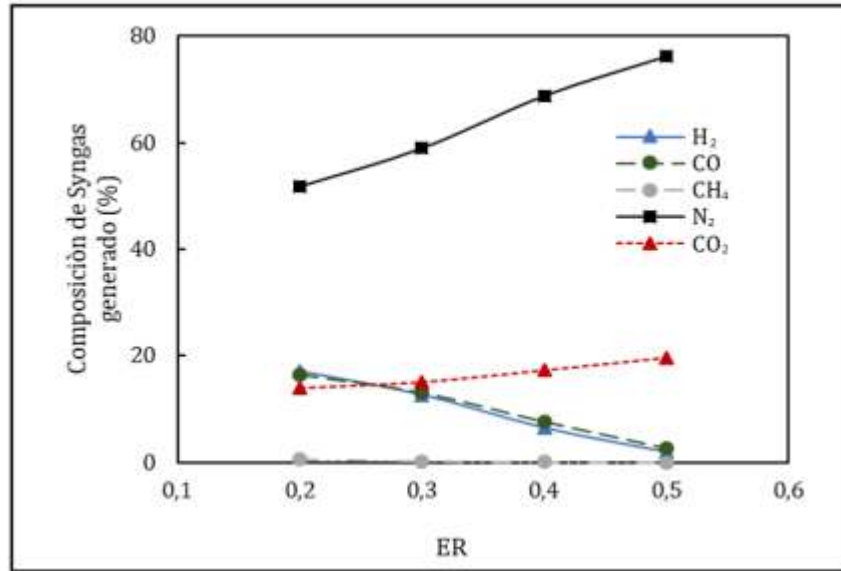


Figura 5 Efecto del ER sobre la fracción molar (%) de H₂, CO y CH₄.

2.4. Conclusiones

- El modelo de simulación planteado en este estudio permitió conocer el efecto de variables de operación como la temperatura y RE (Razón de equivalencia) sobre el proceso de gasificación de raquis de maíz en un gasificador de lecho fijo, corriente descendente a pequeña escala. Se evidenció que cuanto más alta es la temperatura de gasificación, mejor es el rendimiento del gas de síntesis representado en mayores concentraciones de H_2 y CO .
- La comparación de los datos obtenidos para la composición del gas de síntesis y la potencia eléctrica producida mediante el modelo de simulación frente a los datos encontrados en la literatura para diferentes biomásas mostró que el modelo se constituye como una herramienta confiable para evaluar el desempeño durante el proceso de aprovechamiento del raquis de maíz blanco y pueden aplicarse a otro tipo de biomásas residuales para el mismo proceso de conversión energética.

2.5. Referencias bibliográficas-

- Adeyemi, I., & Janajreh, I. (2014). Modeling of the entrained flow gasification : Kinetics-based ASPEN Plus model, 18. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.073>
- Arun, K., & Ramanan, M. V. (2016). Experimental studies on gasification of corn cobs in a fixed bed system, 8(7), 667676.
- Arun, K., Venkata Ramanan, M., & Sai Ganesh, S. (2016). Stoichiometric equilibrium modeling of corn cob gasification and validation using experimental analysis. *Energy and Fuels*, 30(9), 74357442. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01634>
- Biagini, E., Barontini, F., & Tognotti, L. (2015a). Gasification of agricultural residues in a demonstrative plant: Corn cobs. *Bioresource Technology*, 173, 110116. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.086>
- Biagini, E., Barontini, F., & Tognotti, L. (2015b). Gasification of agricultural residues in a demonstrative plant: Corn cobs. *Bioresource Technology*, 173, 110116. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.086>
- Chaurasia, A. (2016). Modeling , simulation and optimization of downdraft gasifier : Studies on chemical kinetics and operating conditions on the performance of the biomass gasification process. *Energy*, 116, 10651076. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.037>
- Damartzis, T., Michailos, S., & Zabaniotou, A. (2012). Energetic assessment of a combined heat and power integrated biomass gasification-internal combustion engine system by using Aspen Plus®. *Fuel Processing Technology*, 95, 3744. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.11.010>
- Damartzis, T., Vamvuka, D., Sfakiotakis, S., & Zabaniotou, A. (2011). Thermal degradation studies and kinetic modeling of cardoon (*Cynara cardunculus*) pyrolysis using thermogravimetric analysis (TGA). *Bioresource Technology*, 102(10), 62306238. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.060>
- Escalante, H., Orduz, J., Zapata, J., Cardona, M., & Duarte, M. (2011). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia.
- Formica, M., Frigo, S., & Gabbrielli, R. (2016). Development of a new steady state zero-dimensional simulation model for woody biomass gasification in a full scale plant. *Energy Conversion and Management*, 120, 358369. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.009>
- Fortunato, B., Brunetti, G., Camporeale, S. M., Torresi, M., & Fornarelli, F. (2017). Thermodynamic model of a downdraft gasifier. *Energy Conversion and Management*, 140, 281294. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.061>

- García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G., & Bueno, J. L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, 103(1), 249258. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.004>
- Li, C., & Suzuki, K. (2010). Resources, properties and utilization of tar. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 905915. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.009>
- Martínez, L. V., Rubiano, J., Figueredo, M., & Gómez, M. F. (2018). Experimental study on the performance of gasification of corncobs in a downdraft fixed bed gasifier at various conditions (Under Review process). *Renewable Energy*.
- Násner, A. M. L., Lora, E. E. S., Palacio, J. C. E., Rocha, M. H., Restrepo, J. C., Venturini, O. J., & Ratner, A. (2017). Refuse Derived Fuel (RDF) production and gasification in a pilot plant integrated with an Otto cycle ICE through Aspen plus™ modelling: Thermodynamic and economic viability. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.006>
- Ramzan, N., Ashraf, A., Naveed, S., & Malik, A. (2011). Simulation of hybrid biomass gasification using Aspen plus: A comparative performance analysis for food, municipal solid and poultry waste. *Biomass and Bioenergy*, 35(9), 39623969. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.005>
- Rincón, S. L., Gómez, A., & Klose, W. (2011). Gasificación de biomasa residual de procesamiento agroindustrial. Retrieved from <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-950-4.volltext.frei.pdf>
- Srirangan, K., Akawi, L., Moo-Young, M., & Chou, C. P. (2012). Towards sustainable production of clean energy carriers from biomass resources. *Applied Energy*, 100, 172186. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.05.012>
- UPME. (2016). Informe Mensual De Variables De Generación Y Del Mercado Eléctrico Colombiano Diciembre de 2016, (69), 116.
- Vera, D., De Mena, B., Jurado, F., & Schories, G. (2013). Study of a downdraft gasifier and gas engine fueled with olive oil industry wastes. *Applied Thermal Engineering*, 51(12), 119129. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.09.012>

Avances Tecnológicos en Módulos Fotovoltaicos y su Influencia en el Diseño de Proyectos de Energía Solar.

Ferney Mauricio Calderón Rincón
ferney.calderon@voltage.com.co / mauro8706@gmail.com
Project Engineer Voltage S.A.S.

3.1. Resumen

El avance continuo de las soluciones tecnológicas referentes a módulos fotovoltaicos está revolucionando la forma de generar energía y el modo en que se realizan las propuestas técnicas y económicas relacionadas con el diseño de proyectos de energía solar.

El mejor aprovechamiento del espacio, el tipo de superficie sobre la cual reposan los paneles solares y el amplio abanico de tecnologías disponibles en módulos solares, influencia directamente en el diseño y en las diferentes posibilidades a la hora de realizar un dimensionamiento fotovoltaico.

Para este estudio se plantea como interrogante la influencia de las variables para tener en cuenta en un modelamiento fotovoltaico, para lo cual se analizarán los diferentes tipos de tecnologías, su influencia y los factores geográficos y locativos que deben ser tenido en cuenta para obtener un buen diseño de una instalación de energía solar.

Es un hecho que el área y tipo de ambiente disponible para ubicar los módulos fotovoltaicos juega un factor importante en el diseño de un proyecto, puesto que la ubicación geográfica, el tipo de material, color y superficie reflectante, puede aumentar o disminuir el porcentaje de eficiencia en la producción de energía, maximizado con el tipo de tecnología que se utilice como fuente generadora.

No es un secreto que la evolución tecnológica experimenta tendencias exponenciales, las cuales disminuyen la brecha temporal entre avances o actualizaciones, adicionalmente, la continua competencia entre productores que buscan superar las especificaciones de modelos anteriores que aumenten las eficiencias de generación energética a menores costos, forja una disputa constante por captar público en un sector que ha venido creciendo mundialmente.

Palabras Clave: Dimensionamiento fotovoltaico, Energía solar, Módulos fotovoltaicos.

3.2. Introducción

El crecimiento poblacional e industrial ha llevado a que el consumo energético mundial tienda a presentar aumentos nunca vistos, generando una preocupación generalizada por la cantidad de potencia necesaria para poder suplir con los requerimientos actuales y futuros (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018). Si se le suma, que cerca del 74 % de la energía consumida a nivel mundial es producida por fuentes convencionales de generación (petróleo, carbón, gas natural, fuentes nucleares) (Figura 1), aumenta la incertidumbre por el deterioro que se está causando al medio ambiente (Rogers & Wisland, 2014).

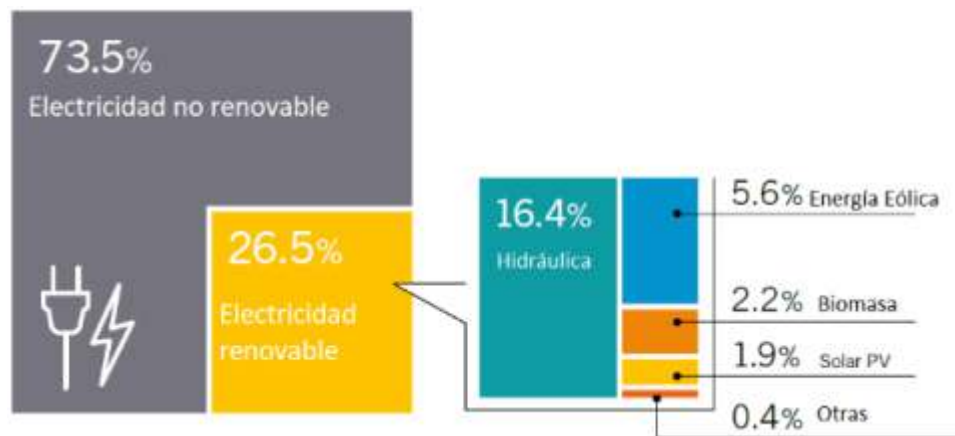


Figura 1 Estimación de producción de Energía según su fuente al finalizar el año 2017. Modificado de (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018)

Fuente: (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018)

Alrededor de 13700 millones de toneladas de CO₂ son producidas por el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) los cuales se concentran directamente en la atmósfera, trayendo como resultado el incremento en la temperatura de la tierra y fenómenos asociados con el calentamiento global, causando graves perjuicios al medio ambiente (gases de efecto invernadero, contaminación del agua, suelo y daños irreparables a los sistemas ecológicos) (Rogers & Wisland, 2014).

Es por todo lo anterior, que se ha despertado el interés por el uso de fuentes de energía sostenibles que sean amigables con el medio ambiente. Los avances tecnológicos en materia de energías renovables y en particular de la energía solar han logrado un importante posicionamiento a nivel global, que hace a este tipo de energía especialmente importante para todo tipo de públicos, desde grandes inversionistas con plantas generadoras hasta el ciudadano de a pie para conseguir su autosuficiencia energética (Husain, Hasan, Shafie, Hamidon, & Padley, 2018).

Actualmente, La energía solar presenta una ventaja frente a las demás tecnologías renovables debido a su simplicidad para ser utilizada en puntos aislados de red, zonas rurales o de difícil acceso, ya que requieren de un

mantenimiento sencillo, son modulares, muy versátiles y adaptables a diferentes situaciones, sin embargo, existe una continua búsqueda por el incremento en la eficiencia de las celdas solares, por lo cual es común observar que salgan nuevos modelos y tecnologías diferentes que pueden ser adaptadas a las necesidades particulares de cada cliente (Kannan & Vakeesan, 2016).

3.3. Marco teórico

3.3.1. Inicios de las tecnologías Fotovoltaicas

El desarrollo de las tecnologías al servicio de los sistemas fotovoltaicos no es un tema reciente, ya que para 1839 el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel al realizar experimentos con soluciones reactivas, encontró que algunos elementos podían generar energía al estar expuestos a la luz solar dando pie al primer encuentro con el efecto fotoeléctrico, para 1880 Charles Fritts, desarrolló la primera celda solar, lo que catapultaría todo un sinnúmero de investigaciones al respecto.

A inicios del siglo XX, Albert Einstein (1905), publicó su artículo relacionado con el efecto fotovoltaico, donde describe con gran detalle la gama del espectro visible y como esto podría influenciar en la producción de energía solar. A mitad del siglo XX, se publican descubrimientos relacionados con la producción de células solares de silicio con eficiencias superiores al 4.5 %.

Pero fue para la década de los 60's cuando se fortalece la industria fotovoltaica con la implementación de células solares en la industria espacial, lo que abrió el camino para el uso en energía eléctrica y al sinnúmero de aplicaciones que hoy en día están a disposición del público en general.

A partir de 2007 se desencadenó un aumento progresivo en el desarrollo y uso de la tecnología solar fotovoltaica (Figura 2), pasando de 8 GW de capacidad instalada en ese año, cerca de 402 GW que se produjeron en el 2017, mostrando el creciente interés por el uso de estos sistemas amigables con el medio ambiente (Rogers & Wisland, 2014).



Figura 2 Estimación del aumento en la demanda de energía solar a nivel mundial entre 2007 y 2017. Modificado de (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018).

Fuente: (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018)

3.3.2. Factores que afectan la eficiencia de un sistema fotovoltaico

Debido al auge de los sistemas fotovoltaicos, se han realizado una serie de estudios a nivel mundial con el fin de conocer los factores que pueden influenciar en el óptimo funcionamiento de los paneles solares, buscando alternativas de mitigación y formas de aumentar la eficiencia de entrega de energía de los módulos. Estos factores pueden ser propios del módulo o causados por condiciones externas de la instalación.

Factores propios del panel

Los factores propios están relacionados con las condiciones con las que cuenta el panel solar en su estructura interna que pueden llegar a afectar su funcionamiento, estos pueden corresponder a la temperatura de funcionamiento del panel y efectos de reflexión y suciedad (Aribisala, 2013).

✓ Temperatura de funcionamiento del panel

El proceso de transformación de la energía solar a eléctrica en los paneles solares está altamente influenciado por la temperatura de operación de estos, ya que la potencia entregada por el módulo y su rendimiento eléctrico, tienen una relación lineal con su funcionamiento ((ISE), 2015).

Cerca del 80% de la radiación solar percibida por un panel es transformada en energía eléctrica, el 20% restante es convertido en calor, lo cual causa el aumento en la temperatura de los módulos, debido a una saturación de electrones que causan la reducción de la eficiencia del sistema y por tanto el deterioro de los equipos (Díaz & Carmona, 2010).

Existe una serie de técnicas que permiten reducir la temperatura de operación de los paneles, dentro de los cuales se pueden destacar las siguientes técnicas:

- Aire acondicionado
- Enfriamiento a base de agua
- Enfriamiento por inmersión líquida
- Refrigeración termoeléctrica
- Refrigeración del tubo de calor
- Micro-canales
- Intercambiadores de calor mejorado
- Enfriamiento por chorros
- Micro-canales híbridos
- Sistemas de cambio de fase

Todo esto dependiendo del tipo, escala del sistema instalado, de la potencia instalada y del propósito para el cual se ha diseñado, ya que no es económicamente viable hacer grandes inversiones de enfriamiento en sistemas de baja capacidad.

✓ Efecto de la reflexión y suciedad, en la superficie de los paneles solares

La radiación recibida al interior de las células solares es menor a la recibida por los componentes de su capa exterior, se estima que cerca del 8 - 10% se pierde por efectos de suciedad y reflexión [3], dependiendo del tipo de material que protege y recubre las celdas fotovoltaicas dependerá que este porcentaje aumente o disminuya, de tal manera que el mantenimiento y óptimo posicionamiento de los paneles influenciará significativamente en la eficiencia del sistema solar.

- Condiciones externas

En los factores externos al panel solar, se pueden encontrar aspectos como variaciones climáticas, ángulo de inclinación y sombreado, que pueden afectar el rendimiento del panel solar considerablemente

- ✓ Efecto de las variaciones climáticas

De los efectos con mayor trascendencia y más difíciles de controlar, se encuentran las variaciones climáticas, ya que el diseño del sistema se realiza tomando datos de radiación solar de bases de datos existentes, los cuales cuentan con cierta incertidumbre relacionada a la manera en la que fue tomada y tratada esta información (González, Sampaio, Orestes, & Gonzalves, 2017).

Si se tiene en cuenta los fenómenos climáticos recientes, donde se han observado variaciones inesperadas de las condiciones atmosféricas, el diseño de sistemas fotovoltaicos presenta mayor incertidumbre al requerir estimaciones con base en datos promedio de un periodo de tiempo con posibles condiciones climáticas diferentes a las experimentadas en la actualidad.

- ✓ Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos

El ángulo de inclinación de los paneles en un sistema fotovoltaico incide en la radiación solar que pueden capturar las celdas solares y depende directamente de la ubicación geográfica en la cual se encuentre la instalación. El factor más importante a tener en cuenta para determinar el ángulo es la latitud del lugar y dependiendo de la distancia a la línea media del Ecuador, donde la variación del ángulo aumentará siempre que el emplazamiento esté más cerca a los polos (Díaz & Carmona, 2010).

Con base en la ecuación (1) es posible determinar la radiación óptima para el plano inclinado, con base en la latitud del lugar donde se realice la instalación, para efectos de lugares en los que la latitud no supere los 10°, el valor de la radiación no presentará una variación considerable que deba ser tenida en cuenta.

$$G_{dm}(\beta_{opt}) = \frac{G_{dm}(0)}{(1 - 4,46 * 10^{-4} * \beta_{opt}) - (1,19 * 10^{-4} * \beta_{opt}^2)} \quad (1)$$

Donde:

$G_{dm}(\beta_{opt})$ = Radiación óptima para el plano inclinado [KWh/m²/día]

$G_{dm}(0)$ = Radiación sobre la superficie horizontal [KWh/m²/día]

β_{opt} = Latitud del lugar en el que se realizará la instalación

Es importante aclarar, que para latitudes menores a 10° cercanas al Ecuador la variación $G_{dm}(\beta_{opt})$ será mínima.

✓ El efecto de sombreado

El efecto de las posibles sombras que pudiesen incidir sobre los paneles solares es un factor relevante que debe ser considerado al hacer una instalación fotovoltaica. El problema del sombreado es que hará disminuir o anular la intensidad que los paneles pudiesen proporcionar, ya que la corriente eléctrica generada por una celda solar es directamente proporcional al área expuesta a la luz solar (González, Sampaio, Orestes, & Gonzalves, 2017).

En la mayoría de los paneles solares, las celdas solares están conectadas entre sí en serie, por lo cual es necesaria la instalación de diodos de bypass para cuando una o varias celdas son bloqueadas en un gran porcentaje, sirviendo una solución parcial del problema.

3.3.3. Tipos de tecnologías

En el mercado existe una gran cantidad de tecnologías disponibles de acuerdo con las necesidades particulares de los diferentes tipos de usuarios, si se le suma el creciente número de fabricantes, se puede encontrar tantos modelos y especificaciones como aplicaciones posibles.

Es importante tener en cuenta que no todas las tecnologías aplican a los diferentes sistemas fotovoltaicos, ya que el propósito para los cuales están contruidos puede presentar mayor relevancia en aplicaciones de gran escala, haciendo que para aplicaciones domésticas, cualquier opción tecnológica pueda brindar características muy parecidas (Centro de ahorro y eficiencia energética de Madrid, 2006).

3.3.4. Paneles Policristalinos

Como su nombre lo indica, los paneles Policristalinos están formados por diferentes cristales de silicio que son fundidos en bruto (con impurezas), sobre moldes con una figura determinada -normalmente cuadrada. Como resultado de este proceso, se obtienen celdas solares de diferentes colores, lo que les da la tonalidad característica de esta tecnología (Figura 3) (Jinko, 2018).

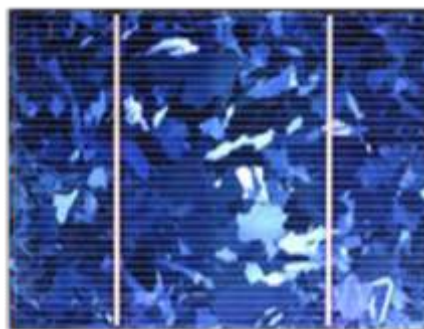


Figura 3 Apariencia de una celda solar policristalina.
Modificado de (Jinko, 2018)
Fuente: (Jinko, 2018)

Partiendo del hecho que esta celda no cuenta con una estructura cristalina uniforme, la eficiencia en la transformación de energía solar a energía eléctrica es la menor comparada con módulos fotovoltaicos de igual potencia de otras tecnologías, la cual no supera el 12%.

3.3.5. Paneles Monocristalinos

Los módulos monocristalinos están formados por celdas creadas a partir de cristales uniformes de silicio, los cuales son cortadas en láminas iguales que permiten la creación de células homogéneas, el color característico de estas celdas va desde el azul hasta el negro, ya que son estructuras cristalinas perfectas de alta pureza (Figura 4) (Jinko, 2018).



Figura 4 Apariencia de una celda solar monocristalina.

Modificado de (Jinko, 2018)

Fuente: (Jinko, 2018)

Teniendo en cuenta que son cristales uniformes, la disipación de energía es menor, permitiendo que la transformación de energía solar en energía eléctrica sea más eficiente, logrando rendimientos entre 14% Y 18%, lo cual permite optimizar la generación de energía en la misma área ocupada por un panel policristalino de igual potencia.

3.3.6. Tecnología Mono PERC

PERC es el acrónimo de las palabras en inglés (Passivated Emitter and Rear Contact), lo cual se traduce en emisores pasivos y contactos traseros, debido a las láminas que incorpora esta tecnología, para lograr capturar mayor cantidad de electrones en la estructura de las celdas (Figura 5) (Husain, Hasan, Shafie, Hamidon, & Padley, 2018).

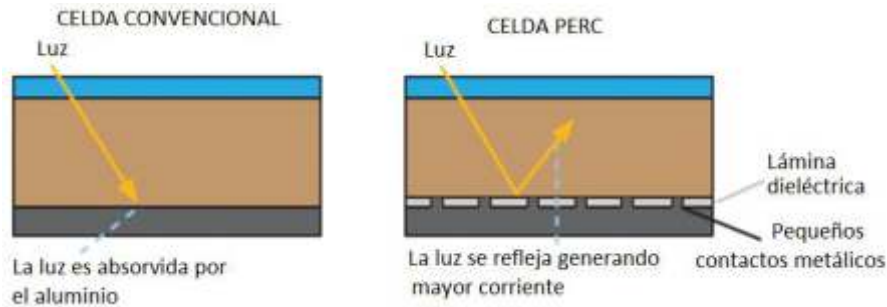


Figura 5 Esquema de las celdas PERC, Modificado de (Husain, Hasan, Shafie, Hamidon, & Padley, 2018)

Fuente: (Husain, Hasan, Shafie, Hamidon, & Padley, 2018)

Básicamente, las células solares PERC incorporan una lámina en la cara posterior de la célula que, por un lado, permiten una mayor captación de la luz solar, y por otro, una mayor captación de electrones. Con esto, lo que se consigue es mayor generación de electricidad por tanto mayor potencia (hasta un 5 % adicional) en estructuras de área similar a las policristalinos y monocristalinos convencionales.

3.3.7. Tecnología Bifacial - Dual Glass

La tecnología bifacial consiste en módulos que pueden transformar la energía solar en eléctrica por las dos caras de este, ya que utilizan un sistema de vidrio delantero y trasero para encapsular las celdas (Figura 6). De tal manera que los paneles absorben la luz de ambos lados del panel. En el lugar y las condiciones correctas pueden producir hasta un 25% o 30% más de energía que los paneles monofaciales tradicionales (Dubey, Sarvaiya, & Seshadri, 2013).

Los paneles Dual Glass o doble vidrio, están formados por una lámina posterior de vidrio trasero que reemplaza a la tradicional lámina EVA (plástico) de los paneles Bifacial y crea un sándwich entre vidrio y vidrio obteniendo un mejor panel ya que el vidrio no se deteriora con el tiempo o no sufre de degradación inducida por la luz (LID) (Figura 7).

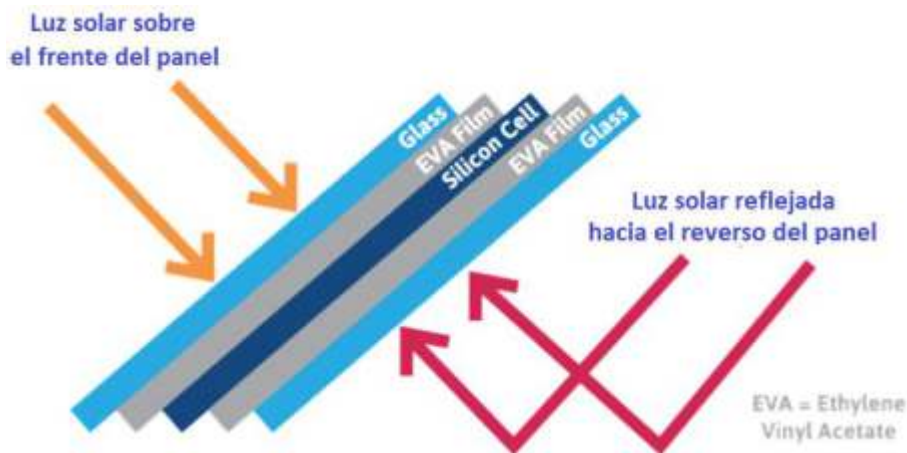


Figura 6 Esquema de módulos bifaciales. Modificado de (Dubey, Sarvaiya, & Seshadri, 2013)

Fuente: (Dubey, Sarvaiya, & Seshadri, 2013)

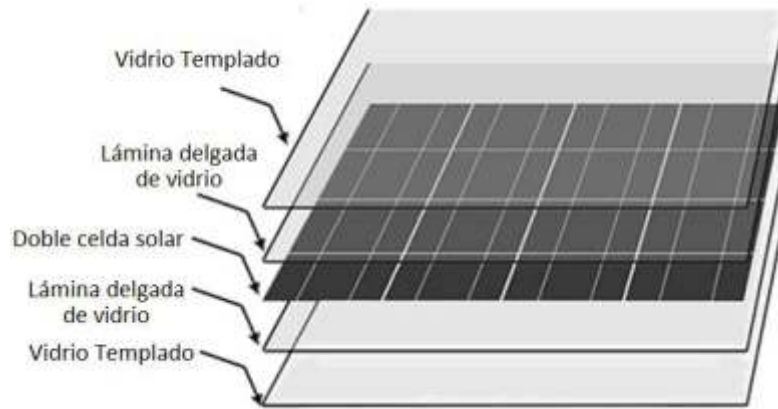


Figura 7 Esquema de módulos Dual Glass. Modificado de (Jinko, 2018)
Fuente: (Jinko, 2018)

3.3.8. Tecnología Half Cell

Se divide el panel en 2 más pequeños de 50% de capacidad cada uno, con esto se aumenta el rendimiento debido a menores pérdidas de resistencia a través de las busbar. Como cada celda tiene la mitad de tamaño, produce la mitad de la corriente con el mismo voltaje.

Este tipo de tecnología se destaca por ser una solución efectiva ante problemas como el sombreado, ya que al ser un panel con dos circuitos independientes, permite que la transferencia de corriente no sea del todo interrumpida, puesto que la corriente puede fluir por el circuito que no está obstruido de tal manera que solo el 50% del panel estaría no operativo (Figura 8) (Jinko, 2018).

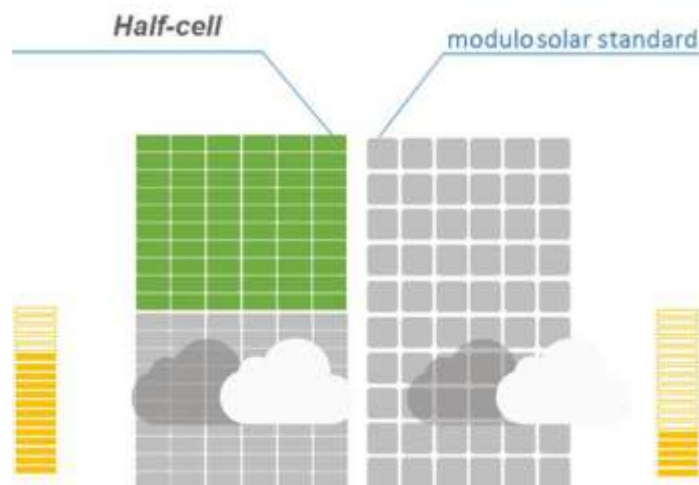


Figura 8 Esquema de los módulos Half Cell. Modificado de (Jinko, 2018)
Fuente: (Jinko, 2018)

3.4. Metodología

3.4.1. Caso de estudio

Para efectos de aplicación de los diferentes tipos de tecnología, se seleccionaron 6 locaciones (Socorro, Bucaramanga, Bogotá, Riohacha, Villavicencio y Cali) en diferentes partes del territorio nacional, con el fin de evaluar el rendimiento de los módulos en condiciones de diferente radiación (Figura 9)

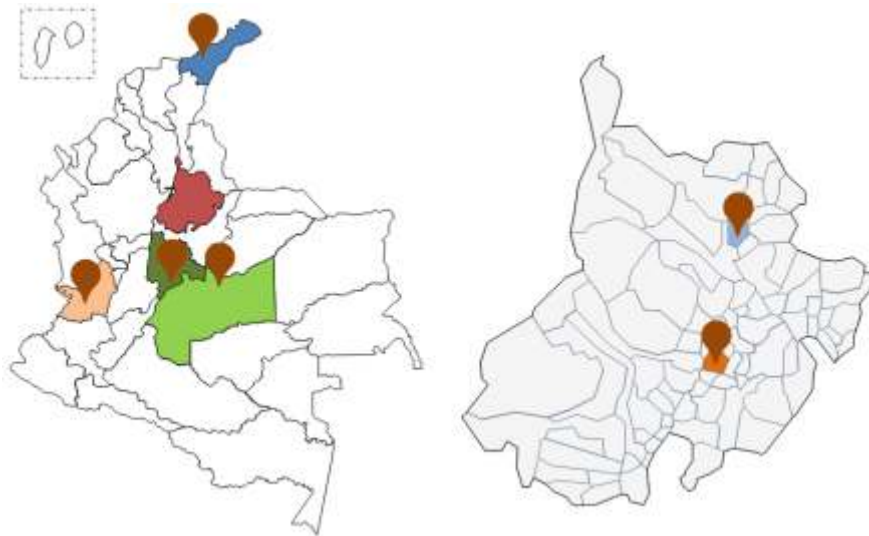


Figura 9 Locaciones objeto de estudio

Fuente: Autores

Se tomó en cuenta la ubicación geográfica de cada una de estas locaciones y se determinó el mínimo valor de radiación en $KWh/m^2/día$ para conocer la cantidad de paneles solares de acuerdo con cada tecnología, en la (Tabla 1) se consignan los datos utilizados para cuestiones de cálculo.

Tabla 1 Datos según locación para cálculos de estudio. Datos tomados de Retscreen.

Locación	Radiación ($KWh/m^2/día$)	Latitud (° ' ")	Longitud (° ' ")	Altura (m) nmsm
Socorro	4.35	6° 28' 5" N	73° 15' 36" W	1238
Bucaramanga	4.33	7° 7' 31" N	73° 7' 10" W	997
Bogotá	4.04	4° 36' 33" N	74° 4' 54" W	2584
Riohacha	4	11° 32' 39" N	72° 54' 24" W	7
Villavicencio	3.75	4° 8' 30" N	73° 37' 25" W	440
Cali	4.28	3° 26' 12" N	76° 31' 19" W	966

Fuente: Autores

Con base en los estos datos consignados en la (Tabla 1) y de acuerdo con las características técnicas consignadas en las hojas técnicas de las diferentes tecnologías de paneles solares, se procedió a calcular la cantidad de módulos a usar, el área a intervenir en cada locación y se determinó cuál de las tecnologías podría ser más eficiente.

En las hojas técnicas se puede consultar el pico máximo de potencia de los paneles, área de estos, voltajes, corrientes y temperaturas de operación, entre otros datos requeridos para determinar los valores necesarios para las comparaciones entre las diferentes tecnologías.

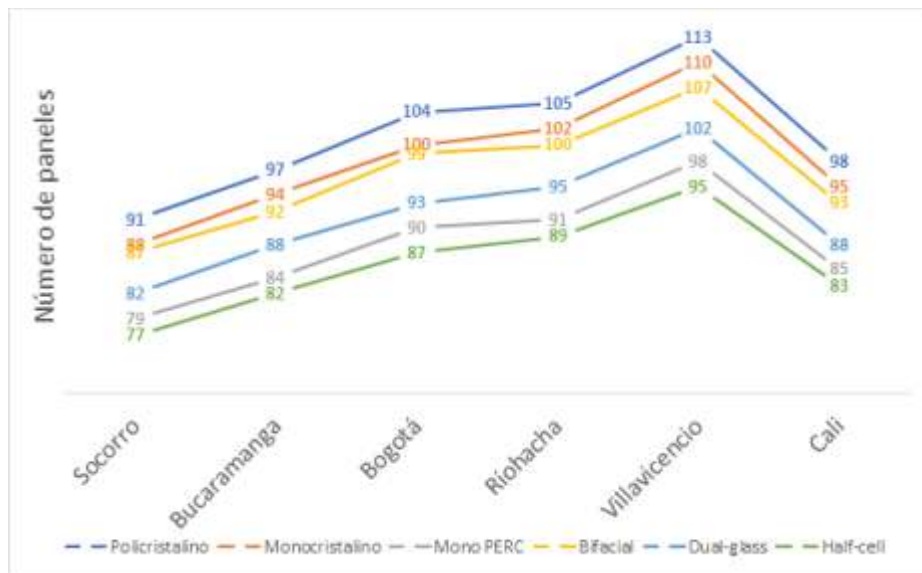


Figura 10 Cantidad de paneles a utilizar en cada locación según tecnología.
Fuente: Autores

En (Figura 10) se puede identificar la cantidad de paneles a usar en cada una de las locaciones escogidas para el estudio de este trabajo, determinando las diferencias para cada lugar con respecto a la tecnología utilizada, es importante destacar que entre la tecnología más eficiente y la menos eficiente, existe una diferencia de 36 paneles, aunque es importante resaltar que es en ciudades diferentes y que las condiciones de radiación son únicas para cada lugar.

Si se tiene en cuenta que cada uno de estos paneles tiene un área aproximada de 2m^2 , existe una diferencia de 72m^2 entre las dos tecnologías, lo que representa una importante inversión, tanto en materiales como área a intervenir, logísticas y demás rubros que pudiesen tener lugar en la implementación de un sistema fotovoltaico.

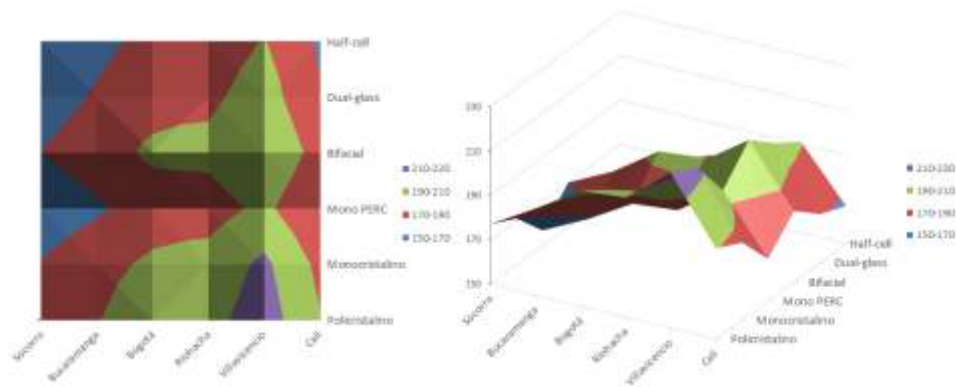


Figura 11 Área por intervenir con respecto a la tecnología a utilizar.
Fuente: Autores

En la (Figura 11) se puede diferenciar el área necesaria que debiera ser intervenida en cada una de las locaciones, una vez más se puede observar las grandes diferencias entre las diferentes tecnologías, donde la Hall-Cell demuestra los mejores rendimientos, en la (Figura 12) es posible identificar la variación de esta tecnología frente a las demás en cuanto a área por intervenir y el número de paneles a utilizar.

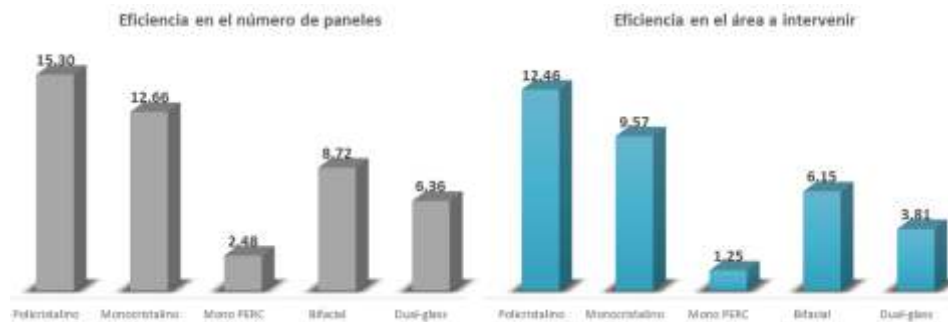


Figura 12 Comparación de la tecnología Hall-Cell frente a las demás tecnologías.
Fuente: Autores

Claramente se evidencian la diferencia en cuanto a tecnología, pero es importante aclarar que este tipo de diferencias son significativas en proyectos a gran escala, para efectos residenciales, no causaría la misma diferenciación.

3.5. Conclusiones

- El tipo de superficie sobre la cual se instalan los paneles solares influye directamente en la eficiencia de producción de energía usando diferentes tecnologías de módulos fotovoltaicos.
- Cada locación en la que se pretende hacer una instalación fotovoltaica tiene características de irradiación solar propias del lugar, por lo cual es importante realizar un estudio de ingeniería para cada instalación, con el fin de hacer más preciso el dimensionamiento del sistema a instalar.
- Cada locación en la que se pretende hacer una instalación fotovoltaica tiene características de irradiación solar propias del lugar, por lo cual es importante realizar un estudio de ingeniería para cada instalación, con el fin de hacer más preciso el dimensionamiento del sistema a instalar.
- Es importante resaltar que las tecnologías no se ajustan a todas las necesidades, ya que para aplicaciones a mayores escalas es donde se pueden notar diferencias significativas en cuanto al área a intervenir, equipos a utilizar y toda la logística que esto implica.
- La evolución tecnológica experimenta tendencias exponenciales, las cuales disminuyen la brecha temporal entre avances o actualizaciones, adicionalmente, la continua competencia entre productores que buscan superar las especificaciones de modelos anteriores que aumenten las eficiencias de generación energética a menores costos, forja una disputa constante por captar público en un sector que ha venido creciendo a nivel mundial.

3.6. Referencias Bibliográficas

- (ISE), F. I. (2015). Annual Report 2014/2015, Fraunhofer ISE. Berlin: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE). Recuperado el 24 de Septiembre de 2018, de https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/annual_reports/Fraunhofer_ISE_Annual_Report_2014_web_final.pdf
- Aribisala, H. A. (2013). IMPROVING THE EFFICIENCY OF SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM. Open Acces, Master's Theses, Paper 161. Obtenido de <https://digitalcommons.uri.edu/theses/161/>
- Centro de ahorro y eficiencia energética de Madrid. (2006). Energía Solar fotovoltaica en la comunidad de Madrid. Madrid: Centro de ahorro y eficiencia energética de Madrid,. Recuperado el 24 de Septiembre de 2018, de <https://www.fenercom.com/pages/publicaciones/>
- Díaz, T., & Carmona, G. (2010). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Madrid: McGraw Hill.
- Dubey, S., Sarvaiya, J. N., & Seshadri, B. (2013). Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world- A review. Energy Procedia, vol. 33, 311-321. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.072>
- González, A., Sampaio, V., Orestes, M., & Gonzalves, P. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. 74, 590 - 601. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>
- Husain, A. A., Hasan, W. Z., Shafie, S., Hamidon, M. N., & Padley, S. S. (2018). A review of transparent solar photovoltaic technologies. Renewable and Sustainable Energy Review, 779-791.
- Jinko, S. (2018). Catálogo del producto Eagle2072M20330-350W-DV. Shangai: Jinko Solar. Obtenido de <https://www.jinkosolar.com/ftp/EN%20Eagle%2072M%20330-350W-DV.pdf>
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: A review. Renewable and Sustainable Energy Review, vol. 62, 1092-1105. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2018). Renewables 2018 Global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018, de <http://www.ren21.net/resources/publications/>
- Rogers, J., & Wisland, L. (2014). Solar Power on the Rise: The technologies and Policies behind a booming energy sector. Union of concerned scientists. Obtenido de <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2014/08/Solar-Power-on-the-Rise.pdf>

Islas De Refrigeración Natural en Áreas Urbanas Tropicales. Caso de Estudio Humedal "La Vaca"

Gina Paola González Angarita ¹, Leyla Nayibe Ramírez Castañeda ²,
Dhais Peña Angulo ³, Carlos Julián Arias Buitrago ⁴,
Eibarh Ricardo Castellanos Ríos ⁵.

ginap.gonzaleza@unilibre.edu.co; leylan.ramirez@unilibre.edu.co;
carlosj-ariasb@unilibre.edu.co; dhaispa@gmail.com;
eibarthr-castellanosr@unilibre.edu.co

Docentes de facultad de ingenierías de la Universidad Libre Seccional Bogotá

4.1 Resumen

Los humedales son una fuente de refrigeración en áreas urbanas, por sus condiciones naturales, diversidad biológica, especies vegetales y su infraestructura verde. En tanto la investigación analiza el histórico de temperaturas y sus cambios debidos a la infraestructura verde del humedal "La Vaca" de Bogotá (Colombia). La intensidad de la temperatura se cuantifica por la diferencia de temperatura y el gradiente entre el humedal de la Vaca y el barrio Altamar. Aunque este humedal presenta conflictos en los usos del suelo por efecto de asentamientos de urbanización ilegal en las zonas inundables. En la actualidad la conservación de la infraestructura verde representa descensos importantes en la temperatura de la zona, puesto que su comparativa con estaciones meteorológicas de la Secretaria de Ambiente y el IDEAM muestran disminuciones en la temperatura de 2,1 °C. Finalmente, se realizan diferentes análisis estadísticos, como la comparación de medias con pruebas paramétricas y no paramétricas, entre otros, para determinar las diferencias espaciales, y los cambios producidos en las series temporales. La conservación de los humedales es una alternativa, que permite restablecer las zonas de manejo, preservación ambiental y zonas de ronda hidráulica en los humedales, utilizando los recursos propios del entorno para reducir efectos generados por el cambio climático.

Palabras clave: Humedales, temperatura, isla de refrigeración, isla de calor, cobertura vegetal.

4.2 Introducción

La isla de refrigeración es un fenómeno de origen térmico que se produce en presencia de humedales, lagos y ríos, que interactúan en zonas urbanas aportando diferentes tipos de paisajes, que crean un complicado balance de energía y un sistema de microclima (Oke, 1982; Chang, Li, & Chang, 2007; Cao, Onishi, Chen, & Imura, 2010). En tanto la diferencia de paisajes puede conducir grandes diferencias de temperatura en la superficie intraurbana (Buyantuyev & Wu, 2010). Además la presencia de la vegetación contribuye en un enfriamiento de los humedales, el cual se considera un importante servicio de regulación del ecosistema (Constanza et al., 1997). Según Benedict y McMahon (2006) la infraestructura verde aumenta la resiliencia de los ecosistemas, también la adaptación al cambio climático (European Environment Agency, 2011). En Beijing los efectos de enfriamiento de los humedales son significativos, ya que la diferencia de la temperatura media fue de 2,6 °C entre el humedal y los paisajes circundantes (Ranhao, Ailian, Liding, & Yihe, 2012). En Taipéi las islas de refrigeración se cuantifican a partir de los parques urbanos, los cuales son en promedio más fríos que sus alrededores. En Santiago de Chile se realizó un estudio de la distribución termal intraurbana, y se obtuvieron como resultados en el parque O'Higgins, en donde se registraron temperaturas menores, con una diferencia de 2 °C más frío con respecto a la matriz urbana, esto se debe a que la cobertura vegetal posee una correlación de signo negativo con la temperatura, lo que produce una zona de enfriamiento (Smith Guerra & Romero Aravena, 2011).

En Bogotá, el análisis de isla de calor urbana se desarrolla con algunas mediciones paramétricas en los humedales Burro, Techo, La Vaca, el río Fucha en su costado norte y el río Tunjuelo, en efecto en la investigación se identifica que dichas zonas funcionan como puntos focales de amortiguación de temperatura, que también para nuestro caso se podrían llamar islas de enfriamiento para la localidad (Meneses Figueroa & Iral Fiquitiva, 2017). Sin embargo, en la actualidad los humedales han perdido parte importante de sus territorios como es el caso de los humedales de Bogotá, en efecto el ascenso poblacional en los últimos años en la ciudad, puesto que han incrementado las migraciones alternado el equilibrio para el desarrollo urbano (Planeación de Bogotá, 2014). Según la organización internacional de la salud, Bogotá se encuentra en un bajo rango de espacios verdes públicos, con respecto a las recomendaciones establecidas en un rango de 10 m² a 15 m² por habitante, Bogotá cuenta con tan solo 4.93 m² por habitante. Este problema se relaciona con la deficiencia de la planificación de ordenamiento territorial en Bogotá (El Tiempo, 2010).

De acuerdo con las estadísticas reportadas por el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (JBB, 2012), la tasa de árboles por habitante en la ciudad presenta una tendencia decreciente en la mayoría de las localidades. En la actualidad la ciudad tiene 1194 árboles para siete millones de habitantes en la zona urbana, siendo esta una cantidad insuficiente, puesto que los árboles funcionan como intercambiadores de dióxido de carbono (CO₂) y también como filtros de control de la contaminación (González Gina, 2018).

La insuficiencia de zonas verdes en Bogotá se relaciona con la presencia de urbanizaciones ilegales (Camargo y Hurtado, 2013). Para el caso del humedal La Vaca la actividad antrópica ha repercutido desde varios años el bienestar del ecosistema, puesto que desde la década de los 70 la extensión de áreas inundables era de aproximadamente 92,17 hectáreas (BARBOSA, 2015), ya para el año 2004 a través del Decreto 190 se define el límite legal del humedal a 7,97 hectáreas (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009). Donde el crecimiento de urbanizaciones sin zonas verdes aumenta la presencia de agentes contaminantes, incrementa las temperaturas y, por ende, enfermedades respiratorias.

¿Sera el humedal La Vaca, una isla de refrigeración natural en áreas urbanas Tropicales?

4.3 Datos y Métodos

El territorio de humedales es un lugar que ha sido citado en muchas ocasiones como una solución natural al cambio climático, ya que es el lugar de varios impactos derivados de la creciente urbanización en la ciudad de Bogotá. Como consecuencia se ha sugerido el humedal de la vaca como un lugar ideal para observar los cambios de temperatura por su fragmentación y localización al sur occidente de la ciudad de Bogotá en la localidad de Kennedy, en donde la creciente urbanización ha dividido el humedal en dos sectores. El sector sur limita con los barrios Villa de la Torre, Villa Emilia, Villa Nelly, y La María. En el sector norte limita con los barrios El Amparo y Amparo Cañizares, el parque Metropolitano Cayetano Cañizares y la central de Corabastos. Cuenta con una extensión de 7.97 Hectáreas. (SDA, 2018). El ecosistema presenta una variedad de especies de plantas, árboles y arbustos, las más representativas son: Sauce, Cajeto, Eugenia, Junco, Hayuelo, Corono, Kikuyo, Sangregado, mano de oso, Curuba, entre otros (SDA, 2011).

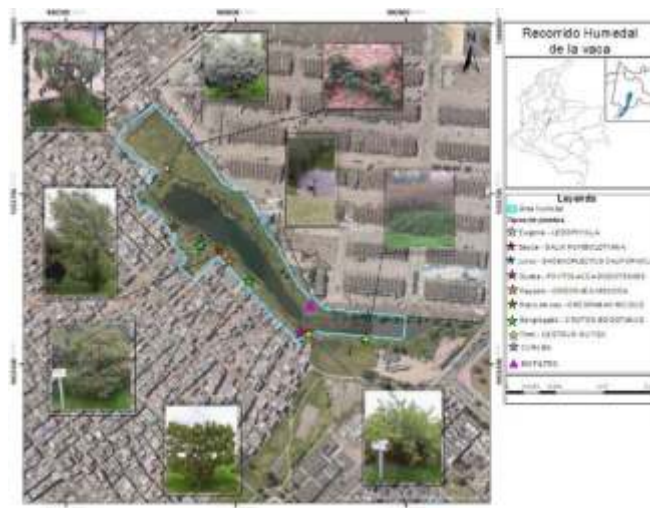


Figura 1 Zona de estudio y caracterización de algunas especies de plantas. Fuente: Autores (2019)

4.3.1 Datos

Las variaciones de las tendencias mensuales en el tiempo se analizaron con una serie completa desde 2008 hasta 2019, que continúan con los enfoques de la nueva climatología de las temperaturas según la perspectiva global de (Jones T. D., 2005) Para cada celda, mes y medición termométrica utilizamos tres estaciones meteorológicas y climáticas administradas por la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá y por el IDEAM. Con respecto a los criterios de selección de las tres estaciones, estas fueron seleccionadas por su cercanía con la zona de estudio y el reporte diario de temperatura del aire para el periodo de estudio 2009-2019. Las estaciones operadas por la secretaria de ambiente (“Kennedy” y Carvajal”) presentan más del 94% de datos diarios registrados para el periodo 2009-2019, mientras que la estación “Colegio Durán Dussan” operada por el IDEAM presenta deficiencias notorias para el registro de datos de temperatura diaria, ya que para el periodo de estudio tan solo se cuenta con aproximadamente el 50,4% de datos registrados (IDEAM, 2019). A pesar de las falencias para los registros que presenta esa estación, se tiene en cuenta para el presente estudio, ya que está ubicada en un punto estratégico de referencia para ser relacionada con el gradiente de temperatura de la zona de estudio. Para corregir las falencias observadas en la falta del 50% de registros de datos de esta estación, se empleó un procedimiento para completar los datos faltantes con registros de alguna estación vecina que presente características similares, para este caso la estación vecina es la “Carvajal” (Gidahatari, 2013).

La recolección de datos empezó desde el día 01 de abril del 2009 hasta el 30 de julio del año 2019, la fecha de inicio fue seleccionada, ya que las dos estaciones de la Secretaria de Ambiente de Bogotá presentan una mayor cantidad de registros completos consecutivos. Para el periodo de estudio, teniendo en cuenta que los registros de temperatura máxima, mínima y media de ambas estaciones son diarios, por día se obtienen 3 datos por cada estación, al finalizar la recolección de datos se deberían tener un total de 21574, dado que el registro de las estaciones no es constante en todos los días, debido a que algunos días las mediciones se ven pausadas por temas de mantenimiento y reparación de los equipos, se genera la aparición de datos faltantes.

Por ambas estaciones se presentó un total de 20948 datos y con un total de 626 datos faltantes, aproximadamente el 6,2% de los datos descargados son faltantes. Por otro lado, la estación “colegio Durán Dussan” solo presenta registros de temperatura máxima diaria, es decir, para el periodo de estudio se deberían tener 3700 registros diarios, pero la estación registro un total de 1866 datos, lo cual representa aproximadamente el 50,4% de datos registrados.

Tabla 1 Análisis preliminar de datos descargados, datos faltantes y datos atípicos.

Estación	Kennedy	Carvajal	Colegio Durán Dussan.
Datos descargados	10876	10072	1866
Datos faltantes	112	514	1834
% Datos faltantes	1,03	5,1	49,6
Datos atípicos	3	15	2
% Datos atípicos	0,027	0,149	0,107

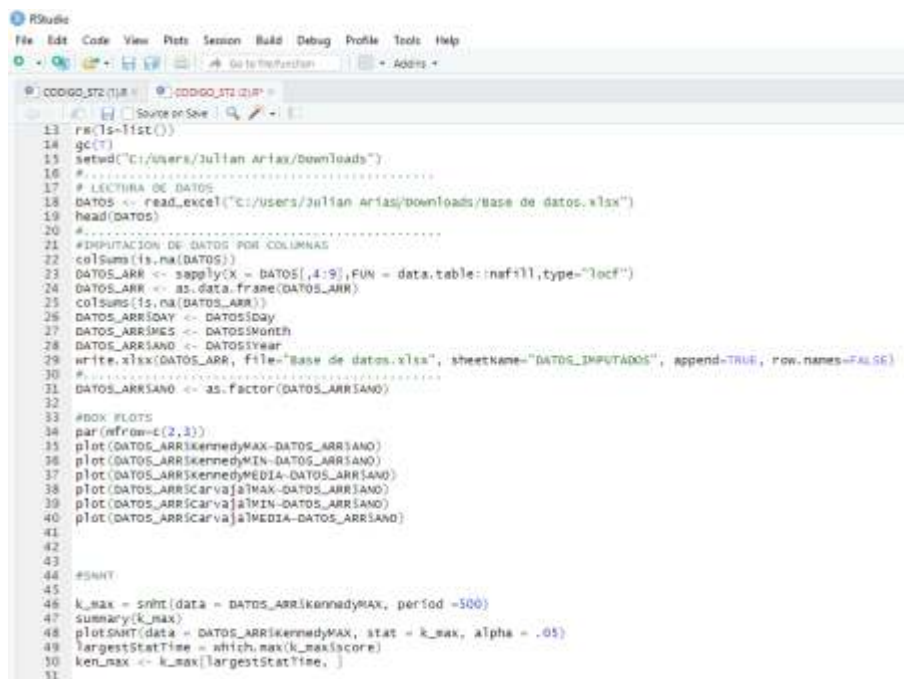
Fuente: Autores. 2019

4.3.2 Llenado de datos en R Studio

Luego de recolectar los datos de temperaturas suministrados por la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá y el IDEAM, se verifica la existencia de datos faltantes en la base de datos para las tres estaciones (Tabla 1), la estación “Kennedy” presenta un 1,03% de datos faltantes, la estación “Carvajal” presenta un 5,1%, mientras que la estación “colegio Durán Dussan” presenta un 49,6%. Para el llenado de datos para las estaciones que presentan un menor porcentaje de datos faltantes, es decir la estación “Kennedy” y “Carvajal” se utilizó el software “R Studio”, el cual es un programa que integra el lenguaje de programación R, dedicado entre otras cosas al llenado estadístico de datos faltantes (RStudio, 2019). Para digitalizar los datos de la base de datos de Excel al lenguaje R se reemplazaron las celdas vacías, es decir los datos faltantes por la denominación “NA”, se organizaron las estaciones por columnas año, temperaturas máximas, mínimas, medias para ambas estaciones, este procedimiento se realizó para programar de manera correcta la base de datos (Cardenas, 2016).

Se realizó un análisis parcial de los datos obtenidos para programar en R Studio, se observan en la (Tabla 2), allí se comparan y analizan los datos descargados con los datos faltantes y la cantidad de datos atípicos detectados con la aplicación del test de homogeneidad.

Uno de los códigos empleados para llevar a cabo el llenado de datos es “Imputación de datos por columnas” este tipo de librería proporciona estrategias básicas para imputar valores perdidos. Los valores perdidos pueden ser imputados con un valor constante proporcionado, o utilizando las estadísticas (media, mediana o más frecuente) de cada columna en la que se encuentran los valores perdidos (RStudio, 2019).



```
13 rm(list=ls())
14 gc()
15 setwd("C:/users/Julian Arias/downloads")
16 #.....
17 # LECTURA DE DATOS
18 DATOS <- read_excel("C:/users/Julian Arias/downloads/base de datos.xlsx")
19 head(DATOS)
20 #.....
21 #IMPUTACION DE DATOS POR COLUMNAS
22 colsums(is.na(DATOS))
23 DATOS_ARR <- sapply(X = DATOS[,4:9], FUN = data.table::naifill, type="locf")
24 DATOS_ARR <- as.data.frame(DATOS_ARR)
25 colsums(is.na(DATOS_ARR))
26 DATOS_ARR$DAY <- DATOS$day
27 DATOS_ARR$MES <- DATOS$month
28 DATOS_ARR$AÑO <- DATOS$year
29 write.xlsx(DATOS_ARR, file="base de datos.xlsx", sheetName="DATOS_IMPUTADOS", append=TRUE, row.names=FALSE)
30 #.....
31 DATOS_ARR$AÑO <- as.factor(DATOS_ARR$AÑO)
32
33 #BOX PLOTS
34 par(mfrow=c(2,3))
35 plot(DATOS_ARR$kenmedyMAX~DATOS_ARR$AÑO)
36 plot(DATOS_ARR$kenmedyMIN~DATOS_ARR$AÑO)
37 plot(DATOS_ARR$kenmedyMEDIA~DATOS_ARR$AÑO)
38 plot(DATOS_ARR$carvajalMAX~DATOS_ARR$AÑO)
39 plot(DATOS_ARR$carvajalMIN~DATOS_ARR$AÑO)
40 plot(DATOS_ARR$carvajalMEDIA~DATOS_ARR$AÑO)
41
42
43
44 #SNHT
45
46 k_max = snht(data = DATOS_ARR$kenmedyMAX, period =500)
47 summary(k_max)
48 plot(SNHT(data = DATOS_ARR$kenmedyMAX, stat = k_max, alpha = .05)
49 largestStatTime = which.max(k_max$score)
50 ken_max <- k_max[largestStatTime, ]
51
```

Figura 2 Código empleado para el llenado de datos en R Studio.

Fuente: Autores. 2019

4.3.3 Llenado de datos por el método de la razón Q

La estación “colegio Durán Dussan” presenta falencias para los registros de datos continuos, se evidencia en el 49,6% de datos faltantes, mientras que las estaciones operadas por la Secretaria de ambiente presentan porcentajes de datos faltantes mínimos. Es por ello que se aplica un método para completar los datos faltantes de la estación “colegio Durán Dussan” con los datos registrados con la estación vecina “Carvajal”, ambas estaciones presentan características similares como la cercanía y la altitud, la Carvajal presenta una altitud de 2653 m y la “colegio Duran Dussan” 2562 m. Al presentarse estas características similares entre las estaciones es pertinente emplear el método de la razón Q. Este funciona como para este caso únicamente con dos estaciones, donde la estación “A” tiene los datos y “B” no (Gidahatari, 2013).

La razón (q) entre los valores mensuales, anuales o medios, tiende a ser constante. Así, si se tienen dos estaciones (A y B), se determina “q” como:

$$Q = \Sigma b_i / \Sigma a_i$$

Donde:

i: Desde 1 hasta N

N: Número total de datos de la serie

b_i: Dato i de la estación B

a_i: Dato i de la estación A

Por tanto, el valor “b_j” faltante en la estación B, se obtiene como:

$$b_j = Q * a_j$$

Donde:

b_j: Faltante en la estación B.

a_j: Faltante en la estación A.

4.3.4 Control de calidad de datos

El control de calidad de los datos disponibles es un paso fundamental que debe tratarse antes de cualquier análisis posterior. Este proceso consiste en un conjunto de pruebas que tienen por objetivo detectar errores no sistemáticos y que pueden alterar la interpretación posterior de los datos. Algunas de las pruebas que pueden ser para nuestro caso de estudio, donde nuestra base de datos está conformada por temperaturas es importante realizar un control de fechas duplicadas, valores fuera del rango climático, definidos como aquellos que superan el umbral fijado por 4 veces la desviación estándar (Prohom Duran, Barriendos Vallvé, Aguilar Anfrons, & Ripoll, 2011).

4.3.5 Aplicación del test al proceso de homogeneización

Después de realizado el llenado de datos con el programa RStudio y ya contando con una base de datos solida de temperaturas máximas, mínimas, medias, se procede a detectar las inhomogeneidades presentes en las series de la base de datos, haciendo uso del Standard Normal Homogeneity Test for Shift Detection (SNHT's) (Alexanderson & Moberg, 1997) el cual nos sirve para detectar saltos bruscos en los valores.

Donde el valor $T(d)$ compara el promedio de los primeros d años registrados con los últimos $(n - d)$; este valor se obtiene con la expresión:

$$(1) T_d = dz_1 + (n - d)z_2 \text{ para } d = 1, 2, \dots, n$$

$$(2) z_1 = \frac{1}{d} \frac{\sum_{i=1}^d (y_i + y)}{s} \text{ y } z_2 = \frac{1}{n-d} \frac{\sum_{i=1}^d (y_{i-y})}{s}$$

Un valor alto de temperatura (T) en un año “ d ” indica una variación brusca. El estadístico de prueba T_0 se define como:

$$(3) T_0 = \frac{\max}{1 \leq d \leq n} T(d)$$

Como resultado del análisis de calidad, se detectaron un conjunto de valores que no permitían la homogeneidad de la serie, como consecuencia de posibles fallas temporales en las estaciones, o en el momento de digitalizar la base de datos, El control de calidad proporciona también gráficos detallados (Figura 3) de los datos meteorológicos donde a simple vista se puede observar dichos saltos bruscos (Guajardo P., 2014).

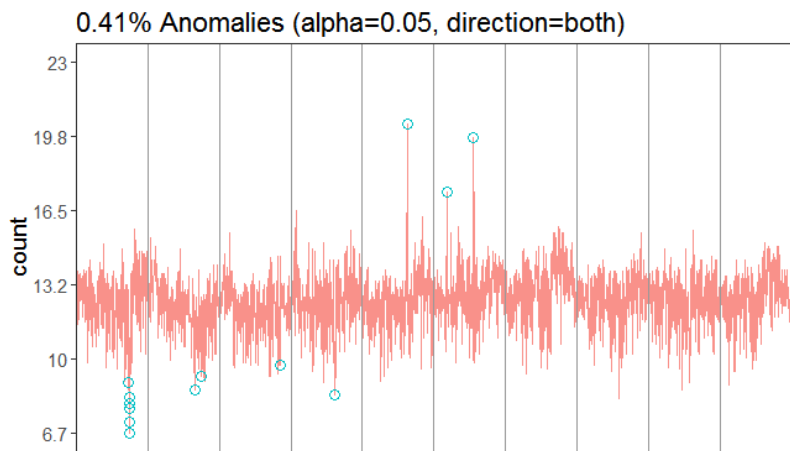


Figura 3 Gráfico del análisis de los datos atípicos encontrados al aplicar el test SNHT.
Fuente: Autores. 2019

4.3.6 Variables e Instrumentos:

Año	Colegio Duran Dussan	Kennedy	AVG Diferencia
2009	19,9	17,7	2,2
2010	18,2	17,1	1,1
2011	19,8	16,6	3,2
2012	20,6	17,0	3,6
2013	20,7	17,2	3,5
2014	19,6	17,4	2,2
2015	18,8	18,0	0,8
2016	19,3	17,6	1,7
2017	20,0	17,7	2,3
2018	20,0	18,1	1,9
2019	19,7	19,0	0,7

Tabla 2 Registros de temperatura promedio anuales de las meteorológicas. Variación de temperatura entre ambas estaciones (AVG).
Fuente: Autores. 2019

En la *tabla 2* se puede observar las temperaturas promedio anuales de las estaciones meteorológicas de estudio, donde se puede evidenciar que las temperaturas de la estación del colegio Duran Dussan tienden a ser un poco mayores con respecto a la estación de Kennedy, estando en un rango de 18,2 °C y 20,7 °C siendo la estación Kennedy la más cercana al humedal, esta se encuentra en un rango entre 16,6 °C y 19 °C. La columna *AVG Diferencia* representa la variación de los registros de temperatura de las dos estancaciones climatológicas, se puede observar que en el año 2015 se registró el menor gradiente de temperatura con una diferencia de tan solo 0,8 °C, y en el año 2012 se registró la mayor diferencia de temperatura con un registro de 3.6 °C.

4.3.7 Interpolación

Los mapas climatológicos se producen a partir de la interpolación espacial fundamentados con series de estaciones meteorológicas para obtener información climática distribuida regularmente en un área definida (D. Peña-Angulo, 2016). Esto se debe a la necesidad de organizar la información climática en campos espaciales continuos de datos para reducir la falta de información en algunas áreas debido a la distribución y funcionamiento en algunas estaciones meteorológicas (Jones P. H., 2004). Para el estudio de caso empleamos un método llamado Kriging para el análisis numérico y obtención de nuevos puntos, está basado en modelos estadísticos que incluyen la auto-correlación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Gracias a esto, las técnicas de estadística geográfica no solo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción sino que también proporcionan alguna medida de certeza o precisión de las predicciones (Desktop, 2016).

4.3.8 Método Kriging

Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z . A diferencia de otros métodos de interpolación en el conjunto de herramientas de Interpolación, utilizar esta herramienta en forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z . Esta herramienta presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie (Desktop, 2016).

La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación. Para el caso de estudio, inicialmente se realiza una regresión lineal de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) contra elevación y proximidad de las estaciones climáticas (m). Luego se aplicó el método Kriging en ArcGIS para obtener finalmente un mapa de isotermas con los valores obtenidos previamente de realizar la interpolación (Hengl, 2007).

4.4 Resultados

Como se estaba esperando en los resultados, la estación de Kennedy registra temperaturas menores debido al grande aporte del humedal la Vaca con su infraestructura verde la cual contribuye para que se presente el fenómeno de isla de enfriamiento beneficiando a la comunidad de sus alrededores. La presencia del humedal con su cobertura vegetal se puede considerar un punto de amortiguamiento de las altas temperaturas que se puedan presentar en la localidad de Kennedy.

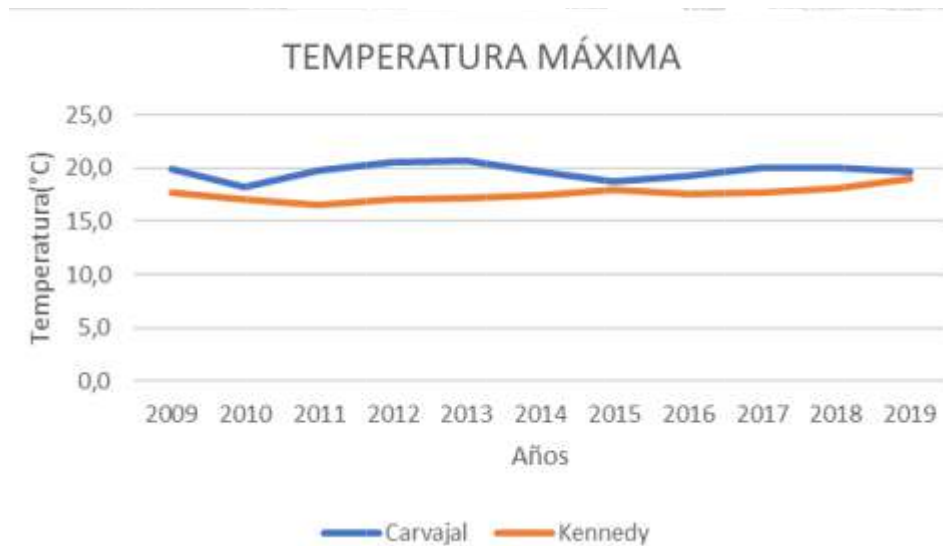


Figura 4 Gráfico comparativo de los valores promedio de temperatura anuales de las estaciones “Colegio Durán Dussan” y “Kennedy”.
Fuente: Autores. 2019

En la (Figura 4) se puede observar los valores promedio de temperatura anuales de la estación colegio Duran Dussan de color azul y la estación de Kennedy de color naranja. Donde el comportamiento de temperatura durante el 2009 y el 2019 de la estación de Kennedy fue menor durante todos los años.



Figura 5 Cartografía de la evolución de la cobertura vegetal en el humedal La Vaca para los años 2010, 2012-2018.
 Fuente: Autores. 2019

En la (Figura 5) se puede observar la evolución de cobertura vegetal para el humedal La Vaca en el periodo 2010, 2012-2018. Para el año 2010 se presentó la menor área de cobertura vegetal con 2.47 hectáreas. Para el año 2018 se registró un incremento de cobertura vegetal con 5,11 hectáreas esto debido a la reforestación que se realizó en el año 2015 recuperando gran parte próxima a la puerta 6 de la plaza de mercado de Corabastos y de igual manera se recuperó una parte que estaba siendo usada como parqueadero de vehículos de carga.

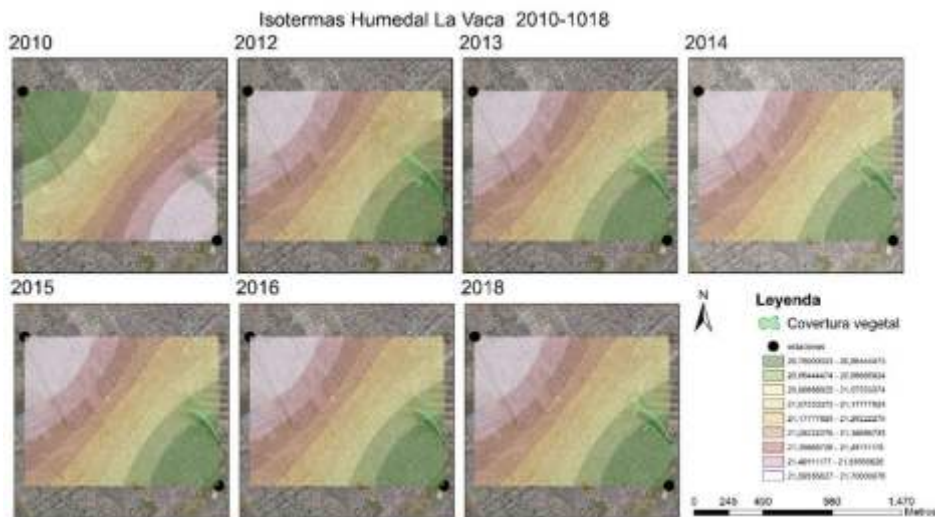


Figura 6 Cartografía de isotermas con los valores promedio anuales de temperatura de las estaciones “Colegio Durán Dussan” (punto superior) y “Kennedy” (punto inferior). Fuente: Autores. 2019

En la (Figura 6) se interpreta el color verde como temperaturas menores estando entre un rango de 20.7°C y 20.9 °C y el color rosado con temperaturas mayores entre un rango 21.4°C y 21.6 °C. En el 2010 se puede observar que estación del colegio Duran Dussan registra menor temperatura que la estación que está más cerca al humedal, esto se puede interpretar a la baja cobertura vegetal que presentaba el humedal para este año. Ya para el periodo 2012 - 2018 las temperaturas se registran menores en la estación inferior cercana al humedal comparadas con la estación superior la cual no tiene ningún tipo de infraestructura verde cerca.

4.5 Discusiones y Conclusiones

En este estudio se recoge una diferencia espacial y temporal de temperatura, analizando los últimos 10 años en la localidad de Kennedy, teniendo en cuenta como principal área de estudio el humedal la Vaca, el cual fue comparado con el área urbana próxima al colegio Duran Dussan. El primer resultado obtenido demuestra la diferencia de temperaturas, en tanto el punto de análisis toma como punto de referencia el humedal la Vaca, que presenta una diferencia de 2.1°C. Teniendo en cuenta lo anterior es correcto afirmar que el humedal La Vaca es un ecosistema valioso para la localidad de Kennedy, ecosistema que debido a su infraestructura verde es posible presenciar islas de enfriamiento que busca regular y amortiguar incrementos bruscos cambios de temperatura en la zona.

Un segundo resultado de este estudio fue la evaluación de cobertura vegetal del humedal La Vaca en el periodo 2010, 2012-2018, periodo en el cual se observa un pequeño aumento de 2.64 hectáreas de cobertura vegetal con respecto al año inicial del 2010, esto debido a planes de recuperación que han ejecutado distintas entidades distritales, como lo fue la reforestación realizada en el 2015 recuperando gran parte de las zona norte, que limita con la puerta 6 de la plaza de mercado de Corabastos y de igual manera se recuperó una parte, la cual estaba siendo usada como parqueadero de vehículos de carga. De igual manera es importante seguir conservando estos ecosistemas y aprovechando de Colombia, que cuenta con una herramienta de planeación y manejo ambiental en los humedales desde el año 2005 y su aplicación recomienda el saneamiento predial, es decir la compra de predios para ampliar las zonas de manejo y preservación ambiental de los humedales (Adessa, 2006).

Considerando que Colombia todavía presenta una deficiencia en su red de estaciones climatológicas y meteorológicas, para este estudio se presentaron varias dificultades debido a la cantidad de datos faltantes, por esta razón sería de gran ayuda contar con el apoyo del gobierno y entidades pertinentes para fortalecer este tipo de información y contar con una red de estaciones, bien distribuida, para el monitoreo de las condiciones atmosféricas y lo suficientemente densa como para poder asegurar series de datos consistentes y así alimentar y fortalecer las estadísticas que hablan sobre el régimen climático de la región (Jiménez, 2014).

Finalmente, futuras investigaciones deberán direccionarse en el desarrollo de proyecto que ayuden a minimizar la pérdida de infraestructura verde para garantizar la presencia de islas de enfriamiento en la localidad, por ejemplo, se pueden proponer jardines verticales tanto en los humedales para así aumentar su densidad de cobertura vegetal, como en diferentes parques y zonas públicas.

4.6 Referencias Bibliográficas

- Smith Guerra , P. E., & Romero Aravena , H. (2011). distribución termal intraurbana en Santiago de Chile. aporte a la gestión ambiental de la ciudad a partir de la construcción de un modelo que permita generar un mapa térmico de verano. Santiago, Chile.
- Adessa. (2006). Plan de manejo ambiental humedal jaboque. Bogotá.
- Alexanderson, H., & Moberg, A. (1997). "Homogeneization of Swedish Temperature Data.
- Buyantuyev, A., & Wu, J. (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landsc. Ecol*, 25, 17-33.
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., & Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*.
- Cardenas, J. (2016). ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ DESDE EL AÑO 1981 AL 2010. 67-69.
- Chang, C.-R., Li, M.-H., & Chang, S.-D. (2007). A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning*.
- D. Peña-Angulo, M. B.-H. (2016). Una nueva climatología de máximos y mínimos. temperatura (19512010) en español continente: una comparación entre tres diferentes métodos de interpolación. España.
- Desktop. (2016). Interpolación con Kriging. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>
- Gidahatari. (2013). Métodos de estimación para completar datos de precipitación y temperatura.
- Guajardo P., G. R. (2014). Pruebas de homogeneidad de varianza a series de precipitación y temperatura de estaciones del estado de Veracruz y áreas aledañas. Obtenido de <http://www.ommac.org/memoria2014/extensos/E2014092606.pdf>
- Hengl, T. H. (2007). Acerca de la regresión-kriging: de ecuaciones a estudios de caso. *computadoras y geociencias*. España.

- IDEAM. (Noviembre de 2019). SOLICITUD DE INFORMACIÓN. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>
- Jiménez, V. L. (2014). Propuesta Metodológica para el Rediseño de una Red Meteorológica en un Sector de la Región Andina Colombiana.
- Jones, P. H. (2004). Cálculo de series temporales climáticas regionales para temperatura y precipitación: Métodos e ilustraciones. *Revista Internacional de Climatología*. Jones, T. D. (2005). Un método mejorado para construir una base de datos de observaciones climáticas mensuales y cuadrículas de alta resolución asociadas. RMetS.
- Meneses Figueroa , T. Z., & Iral Fiquitiva, P. A. (2017). análisis espacio-temporal de variables que inciden en la generación de isla de calor urbana en la localidad de Kennedy.
- Oke, T. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol.*, 1-24.
- Prohom Duran, M., Barriendos Vallvé, M., Aguilar Anfrons, E., & Ripoll, R. (2011). recuperacion y analisis de la serie de temperatura diaria de Barcelona 1780-2011.
- Ranhao, S., Ailian, C., Liding, C., & Yihe, L. (2012). Cooling effects of wetlands in an urban region: The case of Beijing. *Ecological Indicators*, 57-64. doi:10.1016/j.ecolind.2012.02.006
- RStudio. (2019). <https://rstudio.cloud/>.
- SDA, A. (2011). GUÍA para la identificación de especies de flora presentes en los humedales de la sabana de Bogotá. Bogotá.

La Cartografía Social como Herramienta en la Planificación de Cultivos Sostenibles en Simacota Santander

Gina González¹, Sandra L. Cristancho C.², Leila Nayibe Ramírez³,
Deisy Ramírez⁴, Luisa Bernal⁵

ginap.gonzalezg@unilibre.edu.co; sandra.cristancho@unilibre.edu.co;
leylan.ramirez@unilibre.edu.co; deisyj.ramirezr@unilibre.edu.co;
luisaf.bernal@unilibre.edu.co

Programa de Ingeniería Ambiental Universidad Libre Seccional Bogotá;
Facultad Ciencias de la Educación Universidad Libre Seccional Socorro

5.1 Resumen

La cartografía social y la modelación de optimización lineal son herramientas esenciales en la presente investigación para la planificación de cultivos sostenibles en Simacota Santander. En tanto el capítulo del libro busca identificar los cultivos insostenibles por efectos de prácticas ilícitas, para así formular la planificación de cultivos a partir del análisis de variables agroclimáticas y costos de producción en Simacota Santander. La metodología propuesta inicia con el desarrollo de entrevistas semiestructuradas para la construcción de cartografía temática que permite la identificación de la tipología de cultivos. Luego se plantea un modelo de optimización lineal sostenible que integra las variables de producción y agroclimáticas, para el desarrollo de la modelización, las fuentes de información proceden de diferentes estaciones agroclimáticas y bases de datos de Agronet y Corabastos. El modelo de optimización lineal facilita la toma de decisiones en la planificación de cultivos y también maximiza las utilidades del agricultor y el área sembrada en hectáreas, haciendo una recomendación según la capacidad del terreno. Finalmente, los resultados muestran que los cultivos de mayor sostenibilidad son sistemas de producción yuca y plátano por su eficiencia económica y climática en la zona de estudio.

¹Universidad Libre de Colombia - Programa de Ingeniería Ambiental - Sede Bogotá

²Universidad Libre de Colombia - Facultad Ciencias de la Educación - Sede Socorro

³Universidad Libre de Colombia - Programa de Ingeniería Industrial - Sede Bogotá

⁴Universidad Libre de Colombia - Programa de Ingeniería Ambiental - Sede Bogotá

⁵Universidad Libre de Colombia - Programa de Ingeniería Ambiental - Sede Bogotá

5.2 Introducción

En la actualidad la importancia del sector agropecuario inicia con la producción de alimentos y materias primas para la industria, hasta su contribución al crecimiento y desarrollo económico de los países al ser fuente de empleo, genera divisas por exportaciones (Cárdenas Pinzón & Vallejo Zamudio, 2016). El sector agropecuario deteriora los recursos naturales por su aprovechamiento excesivo. Como es el caso de la agricultura extensiva, que emplea mayor demanda en los recursos hídricos, en el suelo, el uso de semillas y la mano de obra. En tanto la principal problemática de la agricultura extensiva es la demanda de tierra para los cultivos, puesto que se estima que para el 2050 aumente el doble de la superficie cultivada en América Latina (López Feldman, 2015), mientras que en la región de Centro y el Caribe las proporciones oscilan entre 40 y 80 %, dicha expansión (Miranda, Suset, Cruz, & Machado, 2007).

De igual manera se calcula que el 24% de las tierras son susceptibles a degradación por la deforestación (Mads, 2016). Entre la deforestación mencionada se encuentra la presencia de cultivos ilícitos, los cuales representan el 6,6 % y 5,7 % entre 2014-2015 a nivel macroeconómico, lo cual logró un incremento del 3% en el valor agregado del PIB (Dane, 2017). Asimismo, dicho crecimiento económico tiene relación con el incremento en la superficie sembrada por dichos cultivos en Colombia, debido a que en los países de Perú y Bolivia se han venido disminuyendo en los últimos años (Unodc, 2018). En Colombia se identifica la presencia de cultivos de coca, que genera efectos ambientales preocupantes, uno de ellos son las deforestaciones en áreas protegidas del país, los casos más significativos son las zonas afectadas en la Reserva Nukak con una afectación de 1169 (Ha) y el Parque Nacional Natural La Macarena con una afectación de 2422 (Ha) (Gutiérrez, Canal, & Ávila, 2018). En la Reserva Forestal del Magdalena se identifica gran parte de dichos cultivos con más del 45% del área cultivada durante los últimos años. De igual manera, las afectaciones son similares en el municipio de Simacota- Santander con el Parque Natural Serranía de los Yariguíes, en donde el 15% de esta zona presenta cultivos de coca, lo cual se convierte en una posible área amenazada (Unodc, 2013).

El desarrollo de cultivos sostenibles genera mejores utilidades a partir de la planeación equitativa entre variables económica, agroclimáticas y sociales. En Latinoamérica en la provincia de Bolívar en Ecuador, se produce 34209 Ton/año de mora, lo que equivale al 39% de la producción nacional de la fruta, esta provincia registra un rendimiento anual de 6.90 Ton/Ha (Barrera, 2017). Los valores de producción reportados muestran que la oferta de este cultivo es insuficiente para la demanda de mora del país. Para ello, se utilizan metodologías de tipificación de los hogares mediante la aplicación de modelos matemáticos de optimización, teniendo en cuenta el programa LINDO, creado por el Departamento de Nutrición y Economía de la Universidad de Florida, EEUU. Este programa permitió trabajar un gran número de variables y restricciones y por lo tanto solucionar las dificultades planteadas con el método manual cuando las variables se presentan en cantidades superiores a veinte o más. En este estudio el programa permitió resolver problemas de maximización de beneficios económicos por medio de programación lineal. Según los

resultados arrojados por el modelo de programación lineal, se observó una maximización del 46% en los beneficios netos, respectivamente, de acuerdo con los diferentes tipos de cultivos (Arévalo Tenelema, 2018).

En Colombia las principales vías de ingreso para la población es el sector hortofrutícola, entre los productos destacados, se tiene la fresa lo cual produce al año 40 Ton/Ha. Puesto que se realiza la planeación desde los modelos de simulación de optimización lineal, de la producción de fresa, ya que, ha venido avanzando con sus análisis de costo/beneficio, con el objetivo de identificar capacidades productivas y su relación con la sostenibilidad esperada. El diseño del modelo se fundamenta en el análisis productivo de cultivo de fresa teniendo en cuenta parámetros de costos de producción y área requerida de siembra. En el modelo se evidencia que a nivel teórico es funcional, ya que se comprueban los resultados con el software GAMS, permitiendo establecer un sistema de verificación de capacidades productivas de un cultivo de una hectárea, para 40.000 plantas sembradas, donde; se logra generar una utilidad de \$ COP 72.000.0000 del cultivo, en un periodo de 2 años, (Sánchez & Ramírez, 2017).

De esta forma, en Colombia se quiere utilizar todo el potencial que ofrecen los modelos de optimización lineal como una herramienta de planificación, que sirva de apoyo para la toma de decisiones para el desarrollo de cultivos sostenibles, conservando la integridad del fruto, minimizando costos, maximizando utilidades y teniendo en cuenta que la calidad de la fruta es primordial para obtener competitividad en el mercado. En el Huila la sostenibilidad de cultivos se desarrolla, con el análisis multivariado de variables agroclimáticas y socio económicas. Como es el caso de Pasifloras, dado que la metodología evalúa la incertidumbre teniendo en cuenta los modelos de simulación no lineal, los cuales permiten la interacción de variables de precipitaciones, la temperatura, el brillo solar, las áreas de cosecha, la siembra, la localización del municipio, el empaque, el rendimiento (kg/ha/año), número de jornales (ha/año, definido como jornales de 8h/día), precios promedio, nivel de formación, tipo de propiedad, número de personas que dependen de la unidad de producción, tipo de transporte que se usa, pertinencia a la organización de productores y aprobación de crédito, logrando una variabilidad del 64 % del modelo utilizado (Ramírez, Cárdenas, & Ruiz, 2018).

En cuanto a la planificación de cultivos sostenibles las problemáticas sociales ambientales y económicas, se ha impulsado a desarrollar diferentes herramientas de optimización que han potencializado en el sector agrícola (Ramírez, Cárdenas, & Ruiz, 2018). Es por esto que en el proceso de la planificación de siembras de cultivos se deben tener presentes labores como la siembra, la aplicación de insumos y la cosecha; lo anterior requiere de la identificación de los elementos externos que juegan un importante papel, ya que, por lluvias, sequías, heladas y demás factores toda la planificación puede cambiar, más aún cuando los cultivos no se encuentran en invernaderos, en los cuales se pueden controlar las condiciones ambientales (Ocha, 2013).

Ahora bien, para disminuir la degradación de los suelos, se debe direccionar inversiones económicas las cuales van orientadas hacia el cambio tecnológico y las transformaciones institucionales que permitan satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras. En ese sentido, el

desarrollo sostenible es un concepto que fundamenta la planificación de dichos cultivos, ya que tiene en cuenta sus tres pilares, que analizan desde el crecimiento económico, la equidad social y la dimensión ambiental (Dourojeanni, 2000). De esta manera se presenta el desarrollo como un proceso que requiere un progreso global, tanto en materia económica y social como en los órdenes ambiental y social (Miranda, Suset, Cruz, & Machado, 2007).

Para el desarrollo de cultivos sostenibles es preciso analizar en términos económicos su productividad. Para el caso colombiano los cultivos con el mayor incremento en productividad fueron los de café (66%), papa (39%), maíz (38%) y tomate (16%). En efecto dichos cultivos contribuyen con la equidad social puesto que aseguran una alimentación sostenible (Cerfontaine, Panhuysen, & Wunderlich, 2014). Asimismo, los gobiernos están en busca de estrategias que promuevan y contribuyan al cumplimiento de la Seguridad alimentaria y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), dentro de estos objetivos se encuentra un aspecto transversal que es la agricultura, una de las actividades sociales, económicas y medioambientales de gran importancia para la sostenibilidad. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la agricultura es el sector que más empleo produce en el mundo, generando ingresos para el 40% de la población rural mundial.

En Colombia de las 43.1 millones de hectáreas destinadas a la agricultura, únicamente 7.1 millones (es decir 6.3% del área nacional) se encuentran dedicadas a siembra de cultivos. Además, según las estadísticas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el periodo 2015-2016 tuvo un crecimiento del 14%, lo que quiere decir que su tendencia es creciente y así se demuestra su estabilidad económica (Villanueva, 2018). En razón a lo anterior el proyecto busca mejorar la planificación de cultivos ilícitos por cultivos sostenibles al hacer un cambio o reemplazo de cultivos a partir del análisis de variables agroclimáticas y sus costos de producción en Simacota-Santander.

5.3 Metodología

5.3.1 Área de estudio

El municipio de Simacota Santander limita al Norte (N): Municipios de Hato, el Palmar, San Vicente de Chucurí y el Carmen de Chucurí, Barrancabermeja ; Oriente (E): Municipio del Socorro y Palmas del Socorro; Occidente (W): Municipios de Puerto Parra; Sur (S): Municipios de Chima, Vélez y Santa Helena del Opón (POT, 2016). Así mismo se identifican cultivos de coca en el municipio de Simacota con diferentes densidades como se muestra en la (Figura 1). En las veredas de San Isidro, el Guamo y la Moya Jovina se encuentran densidades que oscilan entre 0,01 y 0,08 Ha, en las veredas de los Alpes y las Flores Blancas con una densidad de 0,01 Ha y en donde más se evidencian este tipo de cultivos es en la vereda de Cobardes o Yariguíes con una densidad que oscilan entre 0,01 y 1,2 Ha de Coca. Teniendo un área de concentración entre 74 a 1500 Ha de cultivos ilícitos sembrados en el municipio.

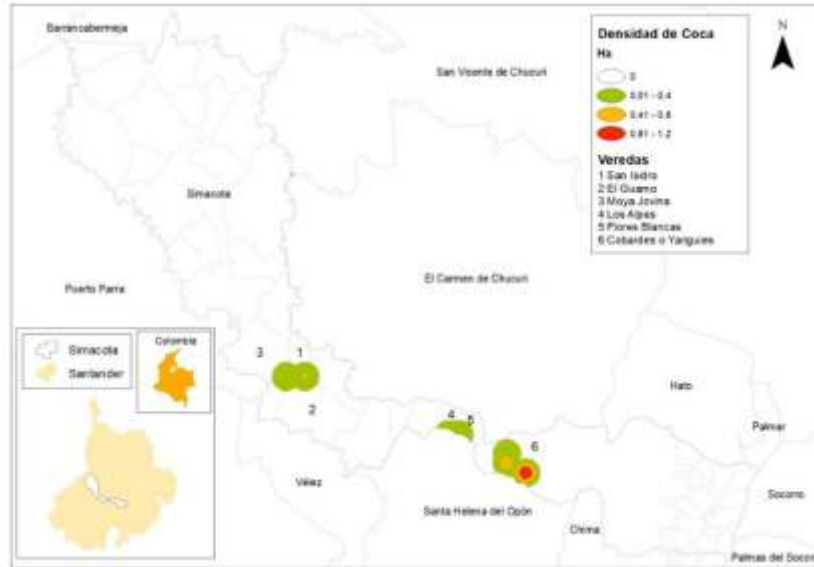


Figura 1 Localización de cultivos de coca en Simacota Santander
Fuente: Elaboración propia con información del Ministerio de Justicia (2017)

Los usos del suelo de la zona de estudio se caracterizan por grandes zonas de bosque natural, bosques plantados, bosques de colonización, pastizales, con algunos cultivos de caña y cítricos que se localizan en el municipio de Simacota (Ver Figura 2).

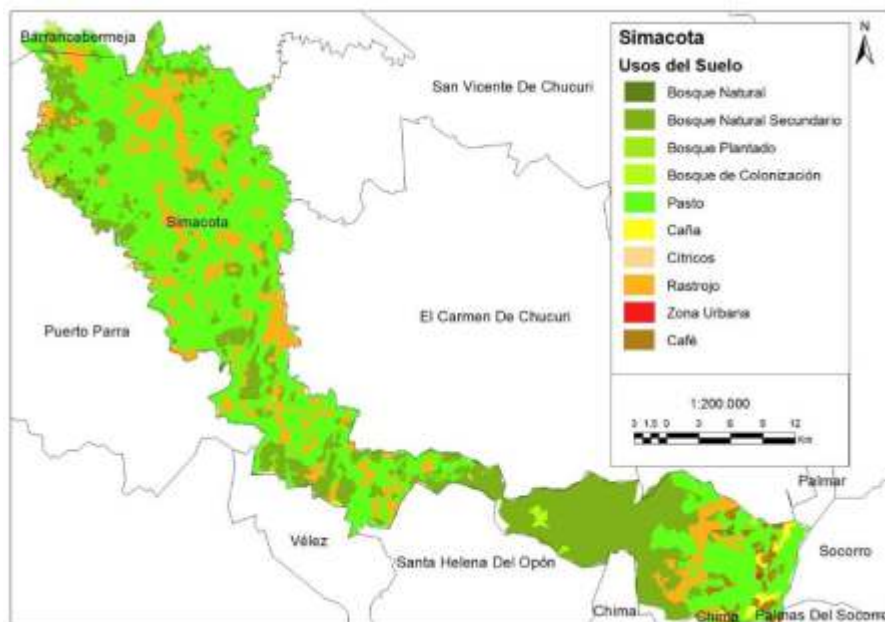


Figura 2 Uso del suelo de Simacota.
Fuente: Elaboración propia con información de la Mapoteca de Santander (2013)
 Tomada de: <https://lamapoteca.com.co/atlas-de-santander/>

Teniendo en cuenta la descripción de usos del suelo suministrada por la Mapoteca de Santander, se identifica que esta información se encuentra desactualizada y genérica, razón por la cual se desarrollan en semiestructuras para obtener información detallada con la tipología de cultivos presentes en la zona de estudio. A continuación, se describe como se realizó el levantamiento de información adicional de la zona de estudio para tener una investigación más completa de los usos del suelo y su actividad económica.

5.3.2 Entrevistas semiestructuradas

Para obtener la información detallada de la zona estudio se desarrollan entrevistas etnográficas, puesto que se encuentran definidas por conversaciones amistosas entre el informante y entrevistador, el propósito de este tipo de entrevistas es la complementariedad con trabajo de campo para comprender la vida social y cultural de diversos grupos sociales (Díaz, Torruco , Martínez , & Varela, 2013). Con respecto a la estructura de la entrevista, esta sigue los criterios propuestos por Ricart & Clarimont, es decir que su ejecución se hace personalmente para identificar los actores claves. De tal manera que las entrevistas semi-estructuradas se adaptaron con los siguientes parametros: 1) El papel del tipo de cultivo; 2) La distribución interna de los cultivos; 3) La clase de cultivo que se produce; 4) El sistema de riego y su caracterización; y 5) La distribución de los cultivos.

Luego de tener la herramienta de la entrevista semiestructura se procedió a reunir 70 estudiantes de Ingeniería Ambiental de la Universidad Libre de las sedes del Socorro y de Bogotá, en el municipio de Simacota, se realizó una capacitación a cada uno de ellos para que adquirieran el conocimiento en el tema, y proceder a realizar entrevistas con los habitantes del municipio, para recolectar información sobre el sustento económico de cada uno de ellos, que cultivos siembran en cada una de las fincas, como es la distribución de esos cultivos en las fincas y demás información que es de vera importancia para la investigación. Cada entrevista tuvo una duración aproximadamente de 30 minutos (Ver Figura 3).



Figura 3 Realización de entrevistas semi-estructuradas con los habitantes del municipio de Simacota.

Fuente: Autores

Al terminar las entrevistas con los habitantes, se reunieron de nuevo las entrevistas como herramienta para consolidar la información en una base de datos de identificación de tipo de cultivos, esta base de datos se organizó de tal manera que se identificara el número de encuestas, la identificación de cada persona, el nombre de la finca, la vereda, el área de la finca, el tipo de cultivo (monocultivo, policultivo), la clase de cultivo, las áreas sembradas y la producción por Ha de cada siembra. Con la base de datos consolidada, se procedió a realizar una cartografía social, representando geográficamente la información de las entrevistas semiestructuradas.

5.3.3 Cartografía Social

El contexto de la construcción cartográfica se fundamenta a partir de la investigación participativa, que se integran como herramienta metodológica, que les permite a las comunidades producir conocimiento sobre su realidad y asumir el territorio como el referente desde donde se construyen colectivamente los mapas temáticos, que ordenan la información del entorno social. Mediante la construcción de mapas, la cartografía vincula la información territorial, al relacionar datos y vivencias que permitieron identificar los conflictos y las potencialidades (Quiñonez, 2011).

Asimismo, la cartografía social se alimenta de las preguntas abiertas, como es el caso de la pregunta ¿Que predios habría que adquirir en su opinión? En esta fase, los entrevistados hacen algunas aportaciones como por ejemplo en el humedal Tibabuyes comprar terrenos del tercio medio y bajo, luego el entrevistado localiza las zonas en la cartografía. La geo especialización se procesó mediante el software ArcGIS, considerando que los datos geoespaciales son un determinante, para identificar la superficie de las áreas en conflicto en el año 2004. Después, en el año 2015 se realizó el mismo procedimiento. Sin embargo, la información se complementó con trabajo de campo, el cual consistía en la georreferenciación de los límites del humedal y las zonas de conflicto con la ayuda de un GPS Garmin etrex-30x. Posteriormente la información se sistematiza por medio de la herramienta Arc toolbox_ Conversion tools _ From GPS. Así pues, la construcción de la cartografía social juega un papel importante en la investigación para identificar el saneamiento predial y sus conflictos entorno a la red de humedales de Bogotá. Como ejemplo de la cartografía social aplicada en los humedales se aporta los mapas de los humedales Burro, Techo y Capellanía del año 2004 y 2015 (González, Toro, & Dorado, 2019). Por esta razón se tiene como proceso la elaboración de mapas con la participación de las comunidades la cual está cobrando mucha fuerza al asociarse con los Sistemas de Información Geográfica SIG.

La cartografía social trascendió “el mapeo colectivo”, como una práctica de apropiación de la técnica de mapeo, pues partió de experiencias y representaciones previas, tanto de las organizaciones y comunidades como de quienes dinamizaron el trabajo (Iconoclasistas, 2011). Además, el reto de sistematización centrado en la representación que sobre su territorialidad que tienen las “personas” en la medida en que: (i) se combinan los ejercicios de reflexión espacial-territorial con ejercicios de reflexión temporal colectiva y (ii) se interpone la memoria y territorialidad construidas en la cotidianidad de la comunidad con representaciones técnicas y hegemónicas del “suelo”,

registradas en fotografías aéreas y en imágenes. Se comprende que el espacio es impensable sin el tiempo y que, por lo tanto, el territorio debe analizarse como una dinámica compleja histórica y geográfica (Vélez Torres, Rátiva Gaona, & Varela Corredor, 2012).

La cartografía social ha sido empleada en diversos estudios como una herramienta cualitativa mediante la cual se facilita el diagnóstico de diferentes problemáticas. Igualmente, ha sido implementada en diversas áreas tales como: geografía, gestión de recursos naturales, enseñanza, delimitación de territorios, planeamiento, resolución de conflictos, entre muchos otros (Ozonas & Pérez, 2004). Por tal razón, con la información recolectada se procedió realizar una cartografía social sobre los cultivos que sustentan al municipio. Por ello, primero se verificó por medio de la página del catastro la existencia de las fincas mencionadas en las entrevistas. Luego, se descargaron los Shapefiles de cada una de estas áreas para graficar geográficamente el estado de la finca y sus respectivos cultivos por medio de Google Earth, al tener los resultados fueron traducidos y analizados utilizando el software ArcGIS 10.4.1. para la construcción de la cartografía de los tipos de cultivos en la zona de estudio. Transversal a la cartografía social, se tuvieron en cuenta las agroclimáticas de la zona de estudio que se mencionara a continuación.

5.3.4 Datos Agroclimáticos

La agro climatología, que es una ciencia reciente, se ha desarrollado como una necesidad a partir de la relación que existe entre la agricultura, los fenómenos naturales y los cambios climáticos. Si bien, el clima no es el único factor del medio físico que influye en la actividad agrícola, debido a que está sometido a variaciones más bruscas en el tiempo, por tanto, sus efectos son más visibles a corto plazo (Campos Aranda, 2005). Los datos agroclimáticos son usados como un instrumento eficaz, que puede ser tomado como criterio objetivo de decisión en el campo agrícola. Su aplicación contribuye a asegurar la eficiencia de la planificación de cultivos, minimizando los riesgos y maximizando la cantidad y calidad de las cosechas (Campos Aranda, 2005).

Además, la planeación de cultivos sostenibles requiere el análisis de datos agroclimáticos, puesto que la variabilidad climática afecta directamente el sector agrícola colombiano (Fernandez, 2013). Los pequeños agricultores tienen poco acceso a la información agroclimática, lo que incide negativamente a la producción y rendimiento agrícola de los diversos cultivos y dificulta la toma de decisiones para el periodo de siembra y seguimiento de los cultivos. Es por ello, que en la actualidad es necesario disponer de datos agroclimáticos representativos de una zona de estudio para una correcta planificación en actividades agropecuarias, turismo, obras de ingeniería, ordenamiento territorial, investigación científica, entre otras (Ugarte, 2017). Para que estos datos sean comparables, coherentes y útiles, se utiliza un conjunto de estaciones agroclimáticas, para medir y registrar los valores medios o extremos diarios, o períodos de varios días de los parámetros físicos de la atmósfera, es decir, la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la insolación, la radiación y la evapotranspiración (Ferrerías Fernández, 2002).

Los datos agroclimáticos son de gran importancia para analizar las condiciones agroclimáticas: altura, precipitación, temperatura y humedad relativa. La información es obtenida de las estaciones del DEAM, las cuales fueron seleccionadas por su proximidad con la zona de estudio, y se muestra en la (Figura 4) la localización de las estaciones y la zona de estudio. Al norte la estación del Carmen de Chucuri, al oriente la estación del Palmar y la de Simacota, al occidente se encuentra la estación de Campo Capote y al sur se encuentra la estación de Chima.

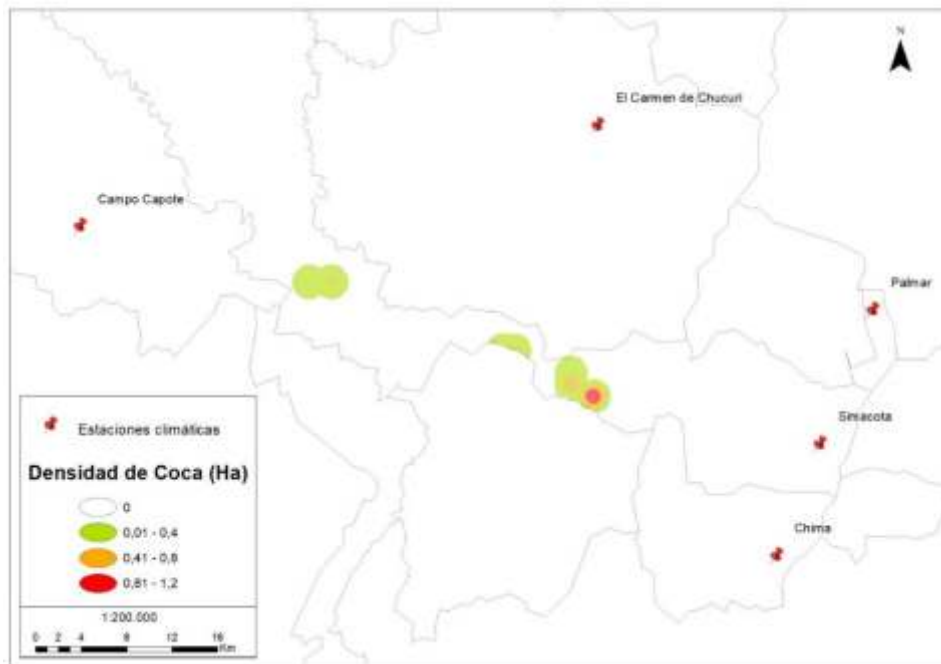


Figura 4 Estaciones de condiciones climáticas más cercanas a la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia con datos del IDEAM (2019).

De acuerdo con la información arrojada por cada una de las estaciones, se realiza una interpolación en ArcGIS de los datos agroclimáticos, para ello, se debe realizar un control de calidad de datos para que la información obtenida sea verídica. El control de calidad de datos es un proceso de pruebas que tienen como objetivo detectar los errores no sistemáticos y que pueden alterar la interpretación posterior de los datos. De acuerdo con la investigación, la información extraída del IDEAM, no se encontraba completa para todas las estaciones climáticas; por ejemplo, con las temperaturas, es importante realizar un control de fechas duplicadas, ya que no se encontraron datos completos de la estación de Simacota (Prohom Duran , Barriendos Vallvé , Ripoll Pi, & Aguilar Anfrons, 2011)

5.3.4.1 Interpolación de la Temperatura

En Eritrea, evaluaron la variabilidad espacial de la temperatura media anual en la región sur de Eritrea mediante la comparación de diferentes procedimientos de interpolación. Los datos de temperatura se interpolaron utilizando un método determinista (distancia cuadrada inversa) y tres métodos geoestadísticos (Kriging ordinario, universal y simple). El rendimiento de las diferentes técnicas se comparó por medio de estadísticas de error calculadas mediante la validación cruzada de Jackknifelo, el cual indicó que el que más se ajusta es el método de IDW (Tewolde, Beza, Costa, & Painho, 2010). Para validar esta información tenemos otro caso de estudio el cual el objetivo era comparar el rendimiento de dos tipos de métodos de interpolación espacial para la estimación de la temperatura de la superficie de 120 estaciones ubicadas en Tailandia y como resultado de una prueba de rango con signo de Wilcoxon lo cual indicó, que el rendimiento del Kriging ordinario fue significativamente mejor (valor $p = 0.002$) que la ponderación de distancia inversa (Tiengrod & Wongseree, 2014).

5.3.4.2 Interpolación de precipitaciones

Por otro lado, unas de las condiciones agroclimáticas importantes para nuestra investigación son las precipitaciones del área de estudio, ya que alimenta a los cultivos en la zona, por ello es se debe realizar la interpolación por el método de (IDW), puesto que interpolación con la distancia inversa ponderada (IDW), es la técnica que se usa para asignar específicamente valores de fracción ha ubicaciones faltantes en función de los valores medidos, en especial para interpolar las precipitaciones, esta técnica carece de criterios de optimización. En general es la más apropiada debido a introduce un discontinuo de superficies y es usada tradicionalmente para grandes áreas en un punto dado. De igual manera, la técnica IDW proporciona un conjunto de pesos que suman unidad y que están inversamente relacionados con la distancia a los puntos de datos en particular (Na-Kim, y otros, 2011).

5.3.4.3 Interpolación de la humedad relativa

Asimismo, en nuestra investigación, también estudiamos la humedad relativa como una variable importante para la adaptación de cultivos en las diferentes regiones que presenta nuestro país, es por ello por lo que también debemos realizar una interpolación de la humedad relativa que hay en la zona de estudio, en nuestro caso, con Simacota. Vemos un estudio similar, como pasa en Henan, una provincia de China, en aquella investigación seleccionaron el método óptimo para la humedad relativa, lo cual, compararon cinco métodos de interpolación, y luego se utilizaron el método de interpolación óptimo para dar la distribución espacial de la humedad del suelo.

Los resultados que obtuvieron fueron que el método de Kriging ordinario es el método óptimo para interpolar la humedad del suelo en la provincia de Henan ya que el margen de error es poco y se puede dar una mejor lectura geográficamente de la información remitida por estaciones climáticas en esta provincia (Yuanyuan, Yong, & Qilong, 2011).

Para complementar la información de la investigación se tomaron datos de condiciones climáticas óptimas para los cultivos que se encontraron en la zona de estudio, esta información se tomó de diferentes fuentes teniendo en cuenta las condiciones climáticas de todas las regiones del país (Ver Tabla 1).

Para complementar la información de la investigación se tomaron datos de condiciones climáticas óptimas para los cultivos que se encontraron en la zona de estudio, esta información se tomó de diferentes fuentes teniendo en cuenta las condiciones climáticas de todas las regiones del país (Ver Tabla 1).

Tabla 1 Condiciones óptimas para cada cultivo.

CONDICIONES ÓPTIMAS									
CULTIVO	Humedad relativa mínima (%)	Humedad relativa máxima (%)	Precipitación mínima (mm)	Precipitación máxima (mm)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Altitud mínima (msnm)	Altitud máxima (msnm)	Fuente
Yuca	50	90	600	3000	20	30	1300	2000	Aguilar, 2017
Citricos	60	80	900	1200	22	33	0	1800	Gonzalez & Tullo, 2019
Cacao	70	80	1500	2500	21	25	0	1200	Federación Nacional Cacaoteros, 2013
Plátano	80	95	1800	2200	20	30	0	600	Rosales, Alvares, & Vargas, 2010
Café	75	85	750	3000	17	23	200	400	Fondo Nacional del Café, 2016
Aguacate	75	80	1200	1600	5	19	300	2500	Anguiano, Alcántara, Toledo, Tapia, & Vidales, 2007
Caña	45	55	1000	1200	21	38	800	1200	López, 2015

Fuente: Autores (2020)

Con lo anterior, se procedió a realizar un modelo de optimización lineal para determinar cuáles son los cultivos que más se asemejan con las condiciones óptimas que deben tener cada uno de ellos. De igual manera, tener en cuenta el rendimiento que tiene cada de los cultivos, el precio, el costo que tiene cada cultivo para su siembra, la inversión y el área disponible para que sean sostenibles en la zona de estudio, usando algunas restricciones de selección del mejor cultivo.

5.3.5 Modelo de optimización lineal (MOLCV)

Los modelos elaborados a partir de la optimización lineal son desde hace años un buen instrumento, que facilita la toma de decisiones en la planificación de cultivos. Para la elaboración de la investigación, se requiere integrar variables agroclimáticas y costos de producción por cada cultivo que se genera en Simacota Santander, es preciso luego integrar la cartografía social. Existen modelos que son capaces de simular las predicciones futuras, a partir de especificaciones para cada cultivo en particular, en función de los escenarios climáticos esperados (Fernandez, 2013). Es por eso por lo que el objetivo de este proyecto es alimentar el modelo de optimización lineal teniendo en cuenta las variables climáticas de los cultivos en la zona de estudio del proyecto y establecer cuáles serán los indicadores de producción y rendimiento.

La programación lineal es un método matemático de resolución de problemas donde el objetivo es optimizar (maximizar o minimizar) un resultado a partir de seleccionar los valores de un conjunto de variables de decisión, respetando restricciones correspondientes a disponibilidad de recursos, especificaciones técnicas, u otras condicionantes que limiten la libertad de elección. Mediante la programación lineal podemos representar un sistema de producción de cultivos mediante un modelo o matriz en el que se incluyen:

- Costos e ingresos generados por unidad de actividad (función objetivo).
- Aportes y requerimientos de insumos y productos por unidad de cada actividad considerada (coeficientes insumo/producto).
- Disponibilidad de recursos, especificaciones técnicas y empresariales a respetar.

En concreto, la programación lineal es un método matemático que permite analizar y elegir la mejor entre muchas alternativas. El modelo general de un problema de programación lineal consta de dos partes muy importantes: la función objetivo y las restricciones (Abdi & Valetin, 2007).

5.3.5.1 La función objetivo lineal

La función objetivo lineal maximiza o minimiza el valor de la función objetivo lineal bajo de unas restricciones lineales de igualdad y desigualdad, como las posibilidades de no negatividad de los valores que puede asumir las variables decisión (Eppen & Gould, 2000).

Los coeficientes C_1, C_2, \dots, C_n son los coeficientes de costo (conocidos) o de ingresos, según el tipo de problema que estemos resolviendo. Por otra parte, X_1, X_2, \dots, X_n son las variables de decisión (variables, o niveles de actividad) que deben determinarse de tal manera que se alcance el objetivo dentro de las restricciones que enfrenta el problema (Alvarado Boirivant, 2009). Se puede representar de las siguientes maneras:

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

o utilizando la notación de sumatorias

$$Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

Dónde:

Z = Función objetivo lineal.

C_j = Precio neto o costo unitario, según sea el modelo.

X_j = Actividad o proceso.

5.3.5.2 Conjunto de restricciones o desigualdades lineales

Las restricciones, expresadas mediante desigualdades lineales, están compuestas por los coeficientes técnicos (A_{ij}), las actividades o procesos (X_n), las cuales también se tomaron en cuenta en la función objetivo y además los niveles o limitaciones (B_i). El conjunto de restricciones se expresa de la siguiente manera:

$$A_{11} X_1 + A_{12} X_2 + \dots + A_{1n} X_n \leq B_1$$

$$A_{21} X_1 + A_{22} X_2 + \dots + A_{2m} X_n \geq B_2$$

Hay tres tipos básicos de restricciones: de “mayor que” (\geq), de “menor que” (\leq) o de igualdad ($=$), y estas pueden ser clasificadas en razón a su naturaleza (Alvarado Boirivant, 2009).

- Restricciones de recursos o entradas: pueden incluirse terreno, capital, mano de obra e instalaciones.
- Restricciones externas: las asignaciones gubernamentales de superficie de terreno, los límites de crédito de los productos u obligaciones de tipo legal.
- Restricciones subjetivas: estas restricciones son características del organismo mismo que se toman como fijas o fuera de control del agente.

De acuerdo con la información recolectada por la cartografía social realizada (Ver Figura 3), se empieza a realizar el modelo matemático en el programa Excel, el modelo se construye con variables como:

- El tipo de cultivo: los cítricos como la mandarina, la caña de azúcar, el cacao, el aguacate, la yuca, el plátano y el café.
- El rendimiento de cultivo: el rendimiento que tiene cada cultivo.
- El precio del cultivo: el precio que tiene el producto en el mercado.
- El costo del cultivo: el costo que tiene cada cultivo para su siembra.
- La inversión disponible para el plan de cultivos: la arroja el modelo, después de colocar las respectivas restricciones.
- El área disponible: el área de cada cultivo ilícito en la zona de estudio.
- El área recomendada: el área que debería ser sembrada de acuerdo con el tipo de cultivo y al costo de producción del cultivo.

Para la realización del modelo matemático se utilizó una herramienta llamada Solver, para poder realizar el modelo de optimización lineal de toda la información recolectada. Las siguientes ecuaciones son las que se emplearon para su construcción y su funcionamiento viable.

-Conjunto

$i \in I$: conjunto de cultivos tipo i

-Parámetros

Rendimiento i: Rendimiento del cultivo i $\left(\frac{\text{Ton}}{\text{Ha}}\right)$

Precio i: Precio del cultivo i $\left(\frac{\$}{\text{Ton}}\right)$

Costo i: Costo del cultivo i $\left(\frac{\$}{\text{Ha}}\right)$

Inv : Inversión disponible para el plan de cultivos(\$)

Área disponible: Cantidad del área a sembrar disponible(Ha)

-Variable de decisión

Área recomendada i: Cantidad de área recomendada para sembrar cultivo i (Ha)

-Función Objetivo

Ecuación 1 $Max z: \sum_{i=1}^n \text{Rendimiento } i * \text{Precio } i * \text{área recomendada } i - \sum_{i=1}^n \text{Costo } i * \text{área recomendada } i.$

-Sujeto a restricciones

Ecuación 2 $\sum_{i=1}^n \text{área recomendada } i \leq \text{Área disponible}.$

Ecuación 3 $\frac{\text{área recomendada } i}{\sum_{i=1}^n \text{área recomendada } i} \geq 0,1 \forall i \in I$

Ecuación 4 $\sum_i \frac{\text{área recomendada } i}{\sum_{i=1}^n \text{área recomendada } i} = 1$

Ecuación 5 $\text{Área recomendada } i \geq 0$

Ecuación 6 $\sum_i \text{Costo } i * \text{área recomendada } i \leq \text{Inv}.$

La (Ecuación 1) determina la utilidad percibida por un productor de acuerdo con el número de cultivos, la (Ecuación 2) limita el área recomendada de acuerdo con la capacidad de área disponible, la restricción (3) permite restringir la proporción estimada del número cultivos en el área disponible, y finalmente la (Ecuación 3) la suma de las proporciones de los porcentajes de los cultivos i a sembrar en el área deben ser igual 1.

5.4 Resultados

5.4.1 Cartografía social

Teniendo en cuenta la información recogida con las entrevistas en la zona de estudio, la cartografía muestra los tipos de cultivos en 15 fincas, entre ellos se identifica cultivos de cítricos, caña de azúcar, café, plátano, cacao y yuca. Además, la cartografía identifica los principales cuerpos de agua entre fincas, zona de arborizada, viviendas y zona de pastizales para el ganado. La identificación de estas zonas se valida con la plataforma de Google Earth e imágenes satelitales (Ver Figura 5).

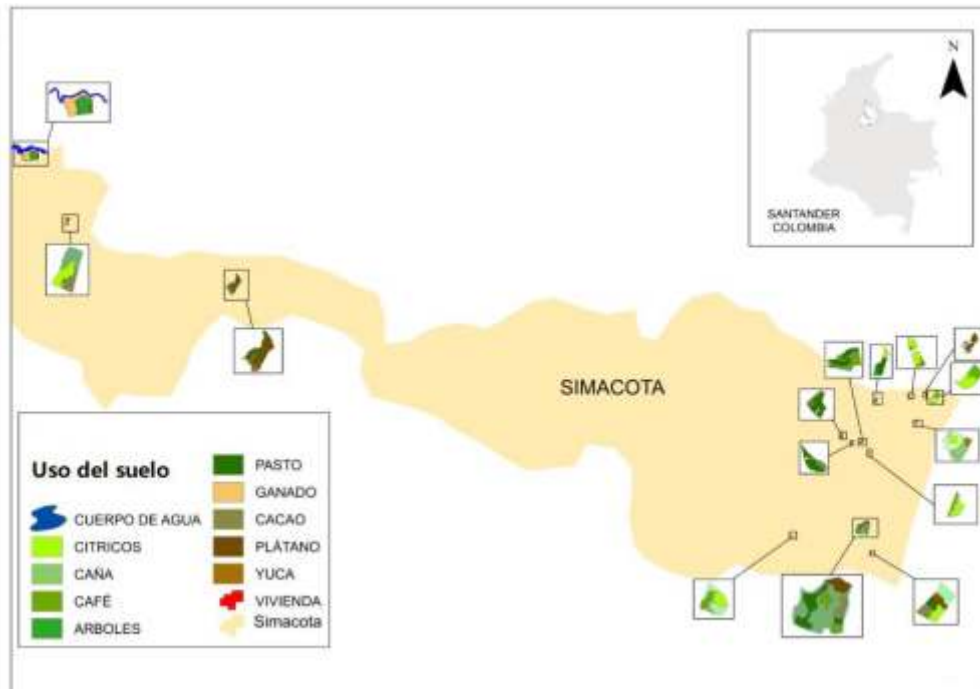


Figura 5 Uso del suelo de Simacota

Fuente: Autores, con información de entrevistas semiestructuradas, 2019.

5.4.2 Datos agroclimáticos

Los datos agroclimáticos de la zona se representan cartográficamente con interpolaciones geoespaciales para identificar las condiciones de siembras con cultivos ilícitos. A continuación, en la (Figura 6), se identifica que los meses de mayor pluviosidad se presentan en abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre. Además, la zona suroccidente obtiene mayores beneficios por las altas precipitaciones. En cambio, los meses de menor precipitación se identifican en enero, febrero y diciembre. Con respecto a los meses de marzo, junio, julio, agosto y noviembre, describen una tendencia que oscilan en un rango de 151 mm a 270 mm, esto quiere decir que los cultivos ilícitos obtienen mayor rendimiento para su desarrollo durante todo el año, debido a que, la precipitación anual optima está en un rango de 1000 mm a 4200 mm. (Serrano López, 2014)

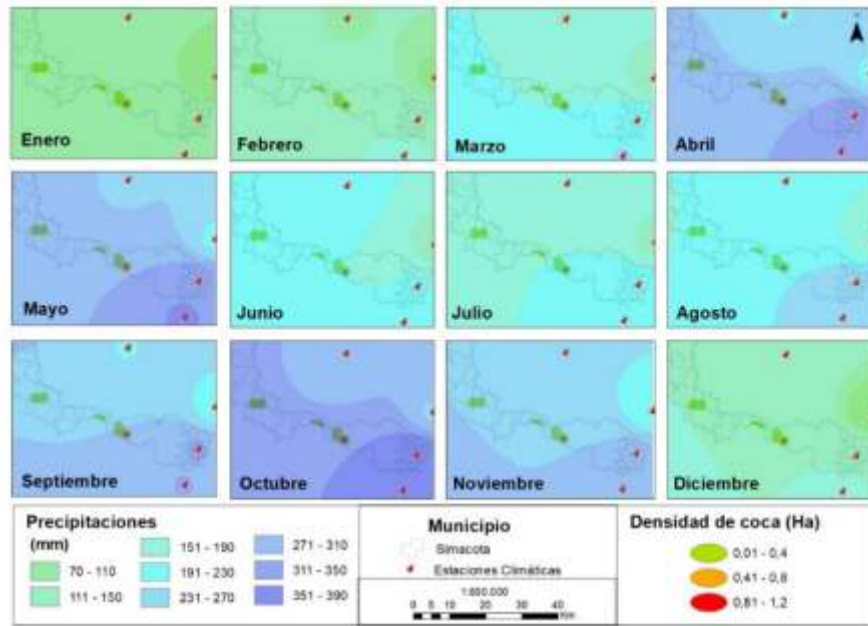


Figura 6 Interpolación de las precipitaciones del municipio de Simacota.
Fuente: Elaboración propia con promedios climatológicos del IDEAM (1981-2010).

En la (Figura 7), se puede observar que hay diferentes tendencias en las temperaturas que oscilan entre 23 °C a 28 °C. Se identifica que los meses con mayor temperatura se presentan de enero a marzo, los cuales oscilan entre 26 °C a 28 °C. En cambio, los meses con menor temperatura se presentan de mayo a noviembre con un rango de oscilación de 23 °C a 24 °C. Esto quiere decir que la zona de estudio presenta rangos de temperatura apropiados para la germinación óptima de los cultivos de coca, ya que este rango oscila entre 24 °C a 25 °C para su desarrollo de crecimiento durante todo el año, especialmente en la parte central del municipio. (Gutiérrez, Canal, & Ávila, 2018)

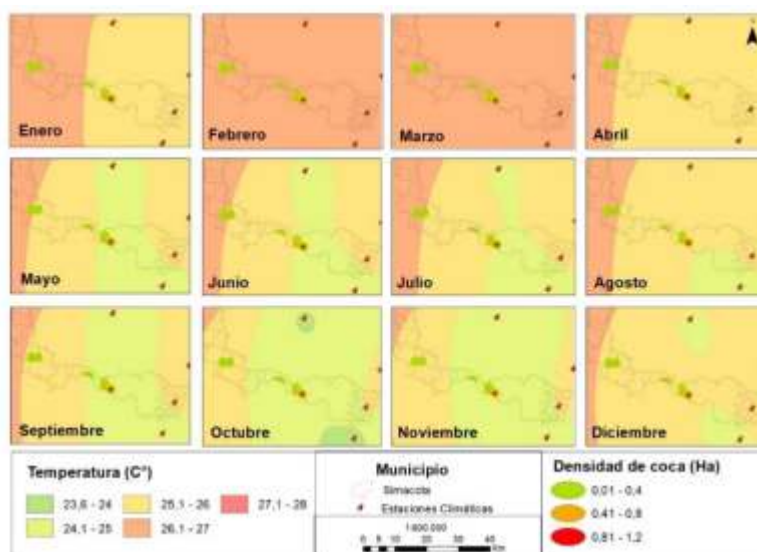
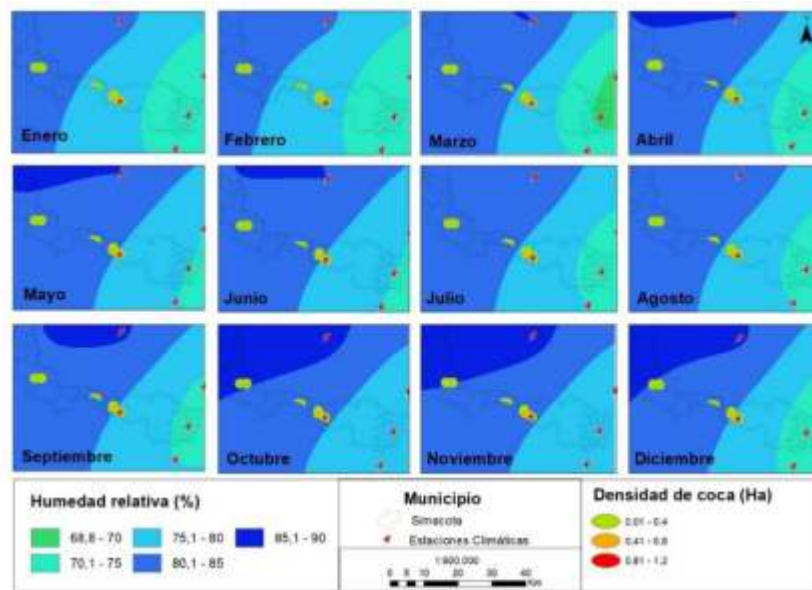


Figura 7 Temperatura del municipio de Simacota.
Fuente: Elaboración propia con promedios climatológicos del IDEAM (1981-2010).



(En la **figura 8**), se identifica que los meses de mayor humedad relativa se presentan en octubre, noviembre y diciembre, con el porcentaje de humedad entre 75 a 90. En cambio, los meses de menor humedad relativa se identifican en enero, febrero, julio y agosto, que oscilan entre 68% a 85%. Con respecto a los meses de marzo, abril, mayo, junio, agosto y septiembre, describen una tendencia que oscilan en un rango de 70% a 90%, esto quiere decir que los cultivos ilícitos obtienen mayor rendimiento para su desarrollo durante todo el año, debido a que, la humedad relativa óptima está en un rango de 80% a 90% (Augusto, 2013).

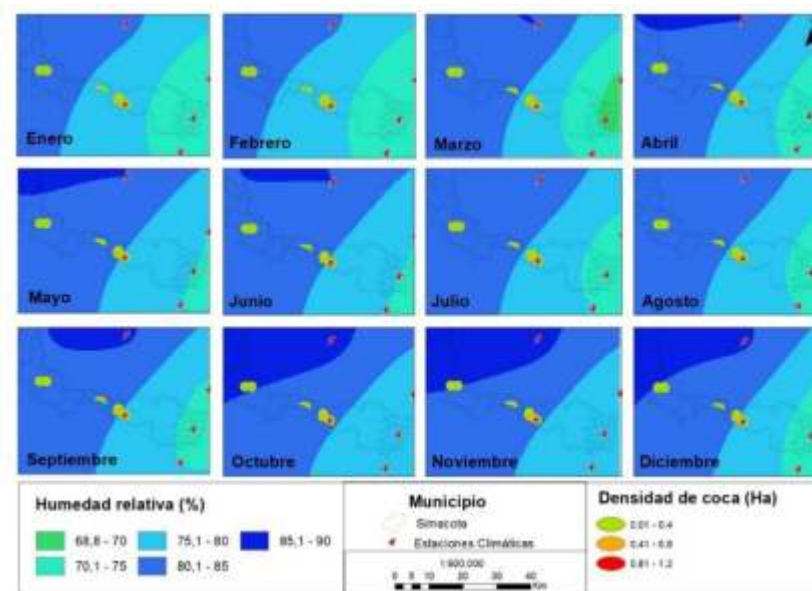
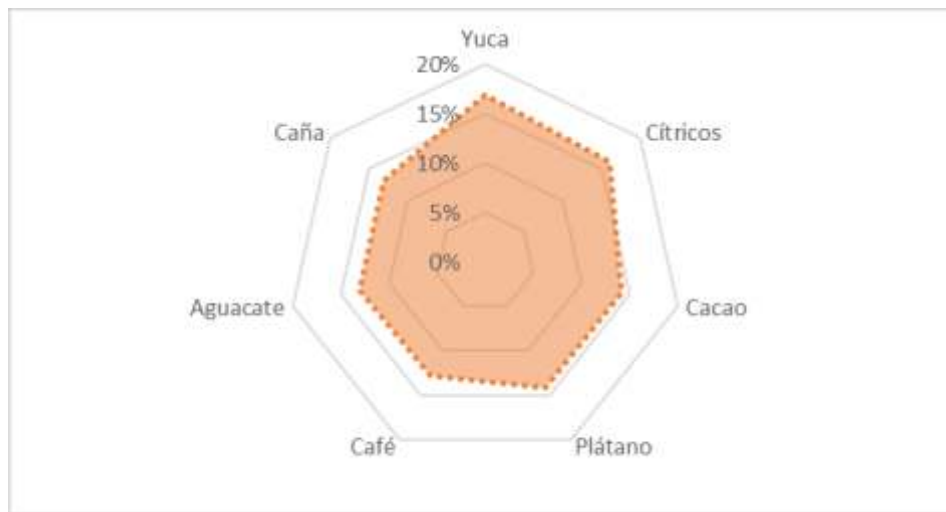


Figura 8 Humedad relativa del municipio de Simacota.
Fuente: Elaboración propia con promedios climatológicos del IDEAM (1981-2010).

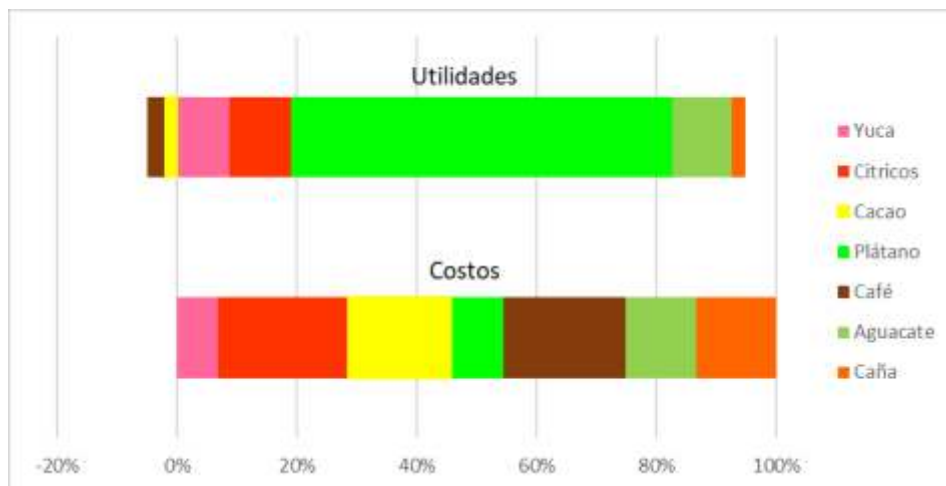
5.4.3 Modelo de optimización lineal (MOLCV)

El modelo de optimización lineal funciona a partir de un sistema binario, que permite identificar los cultivos más adecuados para la zona de estudio. En la (Gráfica 1), Se puede resaltar que los cultivos que más se adaptan con las condiciones agroclimáticas que se presentan en la zona, son lo de yuca (17%), los cítricos (16%), el plátano (14%) y el cacao (14%). Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió a desarrollar restricciones por la parte de costo/beneficio de cada cultivo mediante la herramienta de Solver. Para los resultados que esta herramienta arrojó, se tuvo en cuenta el tipo de cultivo, rendimiento de cultivo, precio en el mercado y el costo del cultivo. Para que así, se maximizara la función objetivo, que tiene que ver con la inversión disponible para el plan de cultivo, el área disponible y el área recomendada para sembrar.



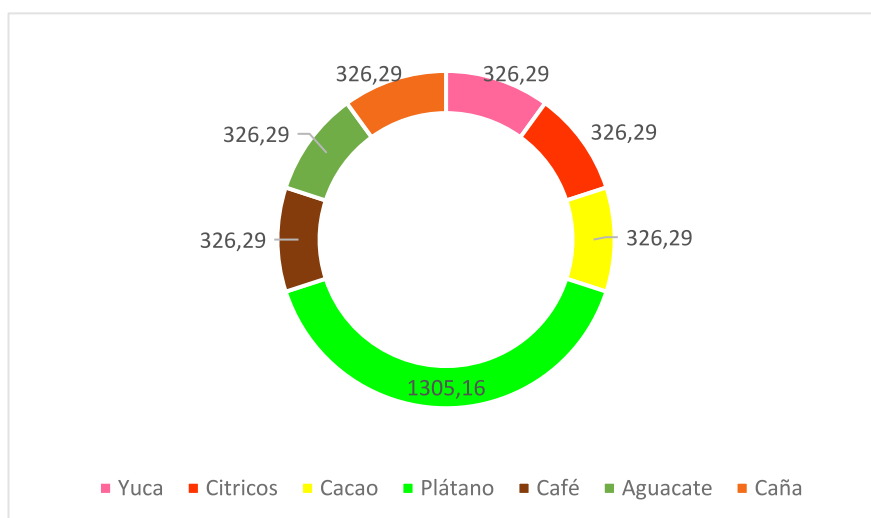
Gráfica 1 Porcentajes del método binario
Fuente: Autores (2020)

En la (Gráfica 1), se observan las utilidades que se puede obtener a partir de unas áreas recomendadas a sembrar, esto se determinó por las áreas disponibles, estas áreas son donde actualmente se encuentran sembrados los cultivos ilícitos los cuales oscilan entre 74 y 1500 Ha. Se identifica que el cultivo en el que más se obtiene utilidades es el de plátano con un 63%, ya que el costo de siembra de este cultivo es muy bajo, gracias a ello, se puede cultivar en mayor área y así mismo obtener mayores utilidades; el cultivo que también genera grandes utilidades es el de yuca con un 44%, ya que, el costo de producción para cultivar este producto es bajo, pero el área a sembrar es mucho mayor al cultivo de plátano para obtener ganancias significativas. Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda unas áreas a sembrar de acuerdo con cada cultivo.



Gráfica 2 Utilidades de los cultivos respecto a los costos de producción
Fuente: Autores (2020)

En la (Gráfica 3), se presentan las áreas recomendadas para sembrar cada uno de los cultivos y que se obtengan utilidades de cada uno de ellos, se puede observar que el 40% del total del área disponible es para el cultivo de plátano con un área de 1305,6 Ha, debido a que con ello se lograría una utilidad del 63%, esto quiere decir que, el cultivo que es más sostenible para esta parte del país es el de plátano, seguido con el cultivo de yuca.



Gráfica 3 Áreas recomendadas.
Fuente: Autores (2020)

Por último, la (Figura 9), se distribuyó geográficamente los diferentes cultivos que se dan en la zona de estudio, que son los de yuca, plátano, cítricos, café, cacao, caña de azúcar y el aguacate, con el propósito de mostrar los resultados que se mencionaron anteriormente. Se puede observar que el cultivo de plátano se presenta en una mayor área, ya que, es el que más generaría utilidades económicas a los habitantes de este municipio, seguido a este producto se presenta en dos diferentes áreas disponibles el cultivo de yuca, debido a que también genera buena rentabilidad y que su costo de producción es también bajo.

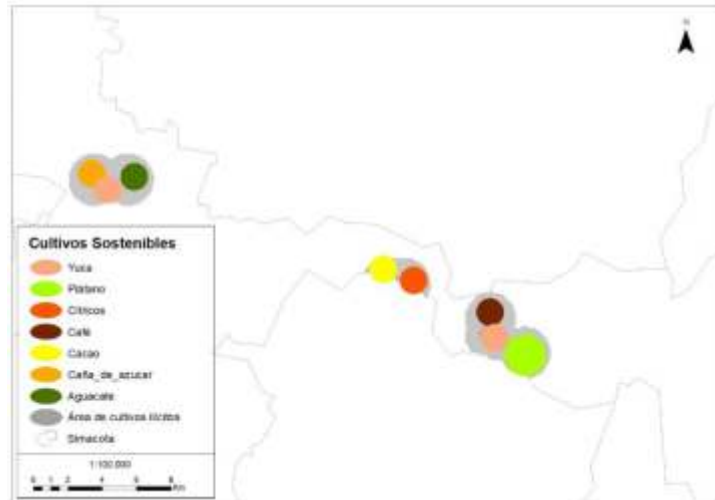


Figura 9 Cultivos sostenibles arrojados por el modelo de optimización lineal.
Fuente: Autores con datos del modelo de optimización lineal, 2020.

5.5 Conclusiones

En este estudio se analiza a partir de modelos de optimización lineal en el sector agropecuario, los cuales ayudan a impulsar la economía colombiana fortaleciendo los procesos de cultivos sostenibles, con el objeto de enfrentar un mercado cada vez más competitivo. La primera contribución de este estudio es el desarrollo de la cartografía social en Simacota-Santander los resultados aportan los tipos de cultivos en la zona de estudio. Los métodos empleados siguen los criterios de (Quiñonez, 2011); (González, Toro, & Dorado, 2019) Además, en esta investigación la cartografía social se construye a partir del desarrollo de las entrevistas semiestructuradas y sigue los lineamientos propuestos por Ricart y Clarimont en el 2016.

La segunda contribución es la zonificación agroclimática del área de estudio y su determinación para la propuesta de cultivos sostenibles a partir del MOLCV. En este sentido, la planificación de cultivos tiene en cuenta las variables agroclimáticas. Por tanto, se identifica que, en la parte central de Simacota Santander, los cultivos sostenibles son: yuca, cacao, cítricos, plátano y café, que prosperan en condiciones agroclimáticas con precipitaciones desde 150 mm a 390 mm mensual (Na-Kim, y otros, 2011). Con respecto a las temperaturas los cultivos de mayor sostenibilidad son: yuca, cítricos, cacao, café y caña de azúcar, se encuentran entre 23°C a 25°C (Tiengrod & Wongseree, 2014). Para la humedad relativa los mejores cultivos son: yuca, cítricos, cacao, café y aguacate, que se encuentran entre 68% a 90% (Yuanyuan, Yong, & Qilong, 2011).

Teniendo en cuenta lo anterior, el modelo de optimización lineal analiza también variables costo/ Beneficio, que funciona con el desarrollo de restricciones de análisis de cada cultivo, mediante la herramienta de Solver en el software Microsoft Excel. Los principales resultados obtenidos analizan el tipo de cultivo, rendimiento de cultivo, precio en el mercado y el costo del cultivo, para que así, se maximizara la función objetivo, que tiene que ver con la inversión disponible para el plan de cultivo, el área disponible y el área recomendada para sembrar, en tanto los mejores cultivos de siembra son los cultivos plátano y yuca (Alvarado Boirivant, 2009).

En síntesis, la investigación identifica cultivos sostenibles en el municipio de Simacota Santander a partir de modelos optimización lineal, se identifica que la yuca y el plátano han demostrado que son viables para reemplazar o sustituir cultivos ilícitos, mediante la implementación de un modelo lineal para la planificación de cultivos a partir de variables agroclimáticas, lo cual se convierte en la ruta para el desarrollo sostenible y sustentable de la región, a través de buenas prácticas productivas que mitiguen y compensen los impactos negativos que trajo consigo los cultivos de uso ilícito.

5.6 Referencias Bibliográficas

- Abdi, H., & Valetin, D. (2007). Multiple Correspondence Analysis. Encyclopedia of Measurement and Statistics, 1-13.
- Alvarado Boirivant, J. (2009). LA PROGRAMACIÓN LINEAL APLICACIÓN DE LA PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS. Rev Reflexiones.
- Arévalo Tenelema, R. J. (Octubre de 2018). Optimización económica como estrategia para mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción de mora, de la provincia de Bolívar. Obtenido de <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/9055/1/20T01084.PDF>
- Augusto, C. (2013). INTERCEPCION DE LLUVIAS POR EL CULTIVO DE COCA (*Erythroxylum coca* L. var. Coca) Y SU IMPACTO EN EL CICLO HIDROLOGICO EN TINGO MARIA. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA Tingo María.
- Barrera, V. H. (Julio de 2017). La cadena de valor de la mora y sus impactos en la Región Andina del Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4700>
- Campos Aranda, D. F. (2005). Agroclimatología Cuantitativa De Cultivos. Mexico: Trillas.
- Cárdenas Pinzón, J. I., & Vallejo Zamudio, L. E. (2016). Agricultura y desarrollo rural en Colombia 2011-2013. Apuntes del CENES, Vol. 32, 94-108.
- Cerfontaine, B., Panhuysen, S., & Wunderlich, C. (2014). SOSTENIBILIDAD AGRÍCOLA. KIT DE HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN. Scanprogram.
- Dane. (2017). Producto Interno Bruto (PIB) enclave de cultivos ilícitos 2015. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/especiales/Boletin_enclave_ilicitos_2015pr.pdf.
- Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M., & Varela, M. (2013). Metodología de investigación en educación médica. Elsevier, 7.
- Dourojeanni, A. (2000). Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5564/S0008667_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Eppen, G. D., & Gould, F. J. (2000). Investigación de operaciones en la ciencia administrativa. Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Fernandez, M. E. (2013). Evaluación del riesgo agroclimático por sectores. 6-21.
- Ferreras Fernández, C. (2002). Agroclimatología. Murcia, España.

- González, G., Toro, V., & Dorado, E. (2019). El saneamiento predial y su validación desde la actuación de diversos actores implicados en la dinámica territorial de los humedales de la ciudad de Bogotá-Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 133-146.
- Gutiérrez, R., Canal, D., & Ávila, F. (2018). Cultivos de coca en Colombia: Impactos socio-ambientales y política de erradicación. *Khoka alternativa*, 28-34.
- Iconoclasistas. (2011). Reflexiones cartográficas II. Recuperado el Junio de 2019, de <http://iconoclasistas.com.ar/2011/05/19/reflexiones-cartograficas-ii/>
- López Feldman, A. J. (2015). Cambio climático y actividades agropecuarias en América Latina. 16.
- Mads. (5 de Diciembre de 2016). 40% del territorio colombiano presenta algún grado de degradación de suelos por erosión. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2592-40-del-territorio-colombiano-presenta-algun-grado-de-degradacion-de-suelos-por-erosion>
- Miranda, T., Suset, A., Cruz, A., & Machado, H. (2007). Perspectivas y enfoques en una nueva época. *El desarrollo sostenible. Pastos y Forrajes* vol. 30, núm. 2, 192-193.
- Na-Kim, S., Kyun-Lee, W., Shin, K.-I., Kafatos, M., Seo, D. J., & Bin Kwak, H. (2011). Comparison of spatial interpolation techniques for predicting climate factors in Korea. *Forest Science and Technology*, 101.
- Ocha, D. (2013). Creación y aplicación de sistema de planificación de siembra de cultivos. Obtenido de http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1106/1/Creacion_aplicacion_sistema_planificacion.pdf
- Ozonas , L., & Pérez, A. (2004). La entrevista semiestructurada notas sobre una práctica metodológica desde una perspectiva de genero. *Universiada Nacional de Comahue*.
- POT. (31 de Mayo de 2016). Plan de Ordenamiento Territorial Simacota-Santander. Obtenido de Área de estudio: https://simacotasantander.micolombiadigital.gov.co/sites/simacotasantander/content/files/000042/2060_plan-de-desarrollo-20162019-con-modificaciones.pdf
- Prohom Duran , M., Barriendos Vallvé , M., Ripoll Pi, R., & Aguilar Anfrons, E. (2011). Recuperación y análisis de la serie de temperatura diaria de Barcelona 1780-2011. *Universitat Rovira i Virgili, Tarragona*.

- Quiñonez, M. (2011). Una experiencia de cartografía social en la zona de Bajamar - Isla de Cascajal Buenaventura. *La Manera Cultural*, 159-160.
- Ramírez, V., Cárdenas, M., & Ruiz, S. (2018). Programación o planeación de actividades o recursos en la agricultura. *Revista EIA*, 74.
- Sánchez, D., & Ramírez, N. (2017). Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido. *Ingenierías USBMed*, Vol. 8, 8-11.
- Serrano López, M. (2014). Cultivos ilícitos de coca y bienestar en las regiones productoras. *Universidad Nacional de Colombia*, 6.
- Tewolde, M., Beza, T., Costa, A., & Painho, M. (2010). Comparación de diferentes técnicas de interpolación para mapear la temperatura en la región sur de Eritrea. *Asociación de Laboratorios de Información Geográfica para Europa (AGILE)*, 1-5.
- Tiengrod, P., & Wongseeree, W. (2014). Una comparación de los métodos de interpolación espacial para la temperatura de la superficie en Tailandia. *IEEE*, 174-178.
- Ugarte, C. (2017). *CLIMAY PRODUCTIVIDAD*.
- Unodc. (2013). Obtenido de Atlas de la caracterización regional de la problemática asociada a las drogas ilícitas en el Departamento de Santander: <http://www.odc.gov.co/portals/1/regionalizacion/caracterizacion/RE062015-caracterizacion-regional-problematika-asociada-drogas-ilicitas-santander.pdf>
- Unodc. (Septiembre de 2018). Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2017. Obtenido de <http://www.odc.gov.co/portals/1/regionalizacion/caracterizacion/RE062015-caracterizacion-regional-problematika-asociada-drogas-ilicitas-santander.pdf>
- Vélez Torres, I., Rátiva Gaona, S., & Varela Corredor, D. (2012). Cartografía social como metodología participativa y colaborativa de investigación en el territorio afrodescendiente de la cuenca alta del río Cauca. *REVISTA COLOMBIANA DE GEOGRAFÍA*, 59-73.
- Villanueva, D. (2018). Estudios sobre la Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia. *Universidad EAFIT*, 25-43.
- Yuanyuan, D., Yong, W., & Qilong, M. (2011). Investigación sobre los métodos de interpolación espacial de la humedad del suelo basados en SIG. *IEEE*, 709-711.

La importancia de los procesos de investigación académicos para la Innovación Ambiental y el Desarrollo Sostenible.

Erdwin Fernando García Martínez.

egarcia872@unab.edu.co

Ingeniero Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Especialización en alta gerencia. Magister en Administración de empresas.

6.1 Resumen

El capítulo describe la importancia de la innovación ambiental a partir de la academia y del sector real, como fuentes de desarrollo sostenible para la generación de propuestas o soluciones a los problemas ambientales que aquejan a la sociedad.

Palabras clave: Sostenibilidad, creatividad e innovación.

6.2 Introducción

La sostenibilidad ambiental, puede ser entendida, como aquella relación entre un sistema socioeconómico y un ecosistema cuya generación de entropía sea compatible con el mantenimiento de dicha relación en el tiempo (García & Vergara, 2000), es decir, que converge en un equilibrio entre las actividades humanas y el medio ambiente, con el fin de disminuir su impacto para protegerlo y conservarlo, en otras palabras, formular ideas o acciones, que permitan asegurar un planeta más sano para las generaciones futuras, incluyendo, la construcción de sociedades pacíficas e inclusivas como cimiento para garantizar vidas dignas para todos, como lo manifestó Antonio Gutiérrez, Secretario General, de las Naciones Unidas en el informe de los objetivos de desarrollo sostenible (2017).

En ese orden de ideas, se trata de generar un equilibrio permanente con el medio ambiente, creando las acciones estratégicas necesarias en pro de su cuidado, pero, sin obstaculizar el desarrollo económico, social y tecnológico de la humanidad. De igual forma, en el marco de la Organización de las Naciones Unidas, se propuso en el año 2015, una agenda de trabajo, donde en ese entonces, los países se comprometieron a generar políticas de desarrollo sostenible, de acuerdo a una serie de objetivos a cumplirse para el año 2030 (UN, 2018), abordando diferentes temas, que van desde el fin de la pobreza, agua limpia y saneamiento, energía asequible y no contaminante, industria, innovación e infraestructura, producción y consumo responsable, hasta acciones que mitiguen los efectos climáticos y protejan la vida de ecosistemas terrestres y submarinos.

Del mismo modo, Colombia quien a la fecha ocupa el puesto 42 entre 180 países en el Índice de Desempeño Ambiental (Environmental Performance Index [EPI]), 2018), no es ajena a dicha agenda de desarrollo sostenible, pues sus objetivos, hacen parte del Plan de Desarrollo del actual Gobierno, adicionalmente, en septiembre del presente año, se creó en campus de la Universidad de los Andes en Bogotá, el Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe (CODS, 2018), el cual tiene entre sus prioridades, educar a los nuevos líderes, hacer investigación y recomendar políticas, a partir del reconocimiento de la visión holística del desarrollo sostenible.

Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos que se han venido realizando, todavía se mantienen varios aspectos por mejorar en el país, sobre todo en factores clave como el desarrollo de la agricultura, energía, agua y saneamiento básico, manejo de basuras, deforestación y minería ilegal, que se convierten en retos muy importantes en el área de educación y la ingeniería ambiental, pues converge en la necesidad de soluciones prácticas a partir de la investigación de la academia en unión con el sector real, para que se puedan convertir en proyectos productivos o empresariales, que les permita a los estudiantes o egresados de estas carreras tener nuevas opciones en cuanto a su horizonte de vida, y de paso, contribuir con el desarrollo de una sociedad más responsable, ética y respetuosa con el medio ambiente, como también lo hacen ver Brabcatelli y Swirski (2016), en su trabajo sobre el rol de la Universidad Jesuita y la necesaria colaboración entre las empresas, el gobierno y la academia.

Del mismo modo, para Arias (2016), la educación, es un factor clave para la sostenibilidad, pues permite una transformación de los modelos mentales de la población sustentada en los valores, y una mayor concientización al respecto de las futuras generaciones, a través, de la comprensión integral de los procesos generadores de desequilibrios ambientales en el planeta y promover un consumo más eficiente de los recursos.

6.3 Desarrollo de temático

En ese orden de ideas, los Objetivos de Desarrollo Sostenible lanzados por Naciones Unidas, han supuesto un nuevo marco de actuación en dichos aspectos, pues supone una transformación desde el ámbito de las universidades y una nueva oportunidad de competitividad para las diferentes empresas, en cuanto a la transformación de sus diferentes productos y servicios, de paso, se abre una gran puerta para el emprendimiento, a través, de la innovación sostenible, siendo esta la mejor opción para resolver los grandes problemas a los que se enfrenta la sociedad, a medida que su población va creciendo y demandan más recursos.

De ese modo, la innovación, no solo consiste, en el esfuerzo de crear un cambio intencional y enfocado en el potencial económico o social de una empresa, como lo expone Drucker (2004), sino también, en la realización de una serie de acciones, que impacten de forma positiva en la sociedad y en el medio ambiente, utilizando la tecnología como principal herramienta y siendo rentable económicamente hablando, en este caso, no solo se trata de innovación y desarrollo (I+D), como lo dice la literatura, sino también, de

sostenibilidad (I+D+S), en donde se crean productos, servicios y procesos, pensando en satisfacer las necesidades, deseos y preferencias de los consumidores, y a su vez, que ayuden a la preservación y cuidado del planeta (Vargas, 2016).

Por lo tanto, las empresas, deben encontrar, cuasi-equilibrios altamente dinámicos y transitorios, del núcleo de los requerimientos funcionales de acuerdo a los requerimientos de la demanda y la oferta, donde se necesitan una serie de estrategias evolutivas eficientes, en un extenso espectro que va desde la adición cercana a los enfoques económicos ortodoxos hasta los ejes actuales de innovación, como lo exponen Sanabria, Prado y Albor (2015).

En ese orden de ideas, la académica, se convierte en un eslabón de gran relevancia, dentro de la cadena para generar procesos de innovación en cooperación con las empresas (Vélez, 2019), a través, de la generación de proyectos de investigación que conlleven a soluciones innovadoras a los problemas ambientales que aquejan a la sociedad, tal es el caso, de la propuesta para el tratamiento primario para la potabilización de agua con las semillas de *Moringa oleífera* como floculante, reemplazando así el sulfato de aluminio que se usa actualmente, tal estudio se planteó como alternativa para la purificación de las aguas crudas del Río Negro, Río De Oro y Quebrada Floridablanca en el departamento de Santander, proporcionando unos resultados satisfactorios al respecto (Acevedo, 2019).

Así mismo, se pueden hacer mejoras en la aplicación de procesos ya existentes o naturales, como el caso de los filtros verdes, que es un método de depuración del agua, mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos, y las plantas, consiguiendo reducciones del DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno), en un 90%, y de sólidos en suspensión en un 95%, además de la eliminación de microorganismos patógenos, fósforos y compuestos nitrogenados en un 80% (Moreno, Fernández, Rubio, Calaforra, López, Beas, & Gómez, 2003), donde se han realizado varias propuestas de investigación al respecto en el país, para su posible implementación, como el trabajo de grado realizado por Torres (2018), donde realiza una evaluación de las condiciones de las áreas rurales para la implementación de estos procesos, llegando a la conclusión, que generarían beneficios ecológicos, sostenibles y sociales en las zonas rurales, teniendo en cuenta que estas presentan menor desarrollo de infraestructura para el saneamiento en comparación las zonas urbanas.

A la par, ya se está usando como una opción de tratamiento para las aguas negras, en la segunda parte del parque industrial de la ciudad de Bucaramanga, donde se hicieron una serie de canales, para el ingreso de las aguas contaminadas procedentes de las industrias de la zona, y son limpiadas hasta en un 90%, por medio de plantas micrófitas, disminuyendo los índices de contaminación del Río de Oro, caso que ha sido expuesto en los principales medios de comunicación del departamento. Por lo tanto, el estudio y la utilización de este tipo de tecnologías verdes, para el aprovechamiento de aguas residuales urbanas tratadas se presenta como una alternativa promisoría a nivel económico y ambiental, además, de ser una forma práctica de innovación, pues sus resultados muestran ventajas económicas sobre los sistemas de tratamientos convencionales, y su inversión es menor al igual que sus costos de mantenimiento (Gil, Cisneros, Dante de Prada, Plevich, & Sánchez, 2013).

Por otro lado, los cultivos orgánicos se están imponiendo cada día más, con excelentes resultados, como la investigación documentada por Torres y Siche (2017), quienes a través del método Síntesis Emergética, lograron evaluar el desempeño ambiental de éstos dos sistemas de producción de café del Perú, uno orgánico y el otro convencional, dentro de sus principales hallazgos y conclusiones, obtuvieron unos indicadores de sostenibilidad más favorables en el sistema de producción de café orgánico en relación con el cultivo convencional.

Estos resultados son importantes ya que permiten concientizar para la toma de decisiones en cómo mejorar los sistemas de producción de café para hacerlos sostenibles y con menor impacto ambiental. La Universidad Libre Seccional Socorro, es un ejemplo de ello, pues desarrollo una marca de café orgánico con excelentes resultados, beneficiando a un buen grupo de cafeteros de la región (Vega, 2018). Por su parte, en el ámbito energético, se está aumentando el uso de energía solar fotovoltaica, la cual, se puede producir, a través de sistemas de calefacción de agua, o por intermedio de placas fotovoltaicas. La relación costo - beneficio resulta ser muy buena, a pesar que la inversión inicial, por lo general es elevada, pero con el tiempo compensa y genera un retorno positivo en la inversión (Gebert, Muller, & Casagrande, 2018), y Colombia cuenta con un buen nivel de potencial de radiación solar en todo su territorio, pudiendo sacar provecho de esta fuente energética con diferentes tecnologías (Gómez, 2017).

Y donde cada vez más, las empresas se motivan a implementar dicha tecnología en el desarrollo de sus procesos, como el caso del Grupo Éxito, una empresa multilatina colombiana, que realiza actividades de comercio al detal, y dentro de su plan de cuidado del medio ambiente, viene invirtiendo en diferentes proyectos de eficiencia energética y generación de electricidad, a través, de fuentes de energía renovables en sus almacenes, permitiendo a la compañía una reducción de 230 toneladas de carbono anualmente y un 24% en promedio de ahorro de electricidad (Grupo Éxito, 2015).

A su vez, Ecopetrol, la empresa petrolera más gran de Colombia, iniciará en el primer trimestre del año 2019, la construcción de un parque solar en el municipio de Castilla La Nueva, departamento del Meta, para abastecer parte de la energía que demanda el campo Castilla, el segundo más grande del país. El parque solar tendrá un área aproximada de 18 hectáreas y una capacidad instalada 21 MW, donde podrá energizar una población de 27.000 habitantes (Ecopetrol, 2018).

Por otra parte, se impone cada día más, el uso de recursos renovables y la biodegradabilidad de productos, como una de las nuevas alternativas en el área innovación ambiental, para disminuir el impacto ocasionado por la acumulación de materiales sintéticos. Donde la evaluación del proceso de biodegradación de estos materiales poliméricos continúa anclada al desarrollo de investigaciones relacionadas con el favorable impacto ambiental (Rodríguez, 2017).

Sin embargo, con el desarrollo de los biopolímeros naturales renovables se abre la posibilidad de producir recubrimientos y empaques biodegradables a partir de materias primas autóctonas de Latinoamérica con destino a la protección de alimentos y otros usos agroindustriales, como lo exponen Villada,

Acosta y Velasco, (2007). Donde los proyectos de innovación ligados a este tema desde la academia, a través de propuestas de investigación, resulta de gran relevancia para los avances en este aspecto, pues los polímeros biodegradables pueden solventar problemas en diversas áreas como la salud, medicina y medio ambiente, por lo tanto, se convierten en una gran alternativa de sostenibilidad ambiental (Zapata, Pujol, & Coda, 2012).

De ese modo, se pueden encontrar varios ejemplos de innovación ambiental en diferentes áreas a partir de la academia y del sector real, respondiendo a los diversos retos en esta materia, además, de convertirse en generadores de un desarrollo económico más sostenible, y a su vez, se pueden transformar en fuentes de referencia, para modelos de emprendimiento y proyectos creativos e innovadores, para la resolución de los problemas ambientales de la región o del país.

Pues como lo describe Novo y Zaragoza (2006), en su libro sobre desarrollo ambiental y sostenible, para comprender la crisis ambiental que hoy vive el planeta, es imprescindible sumergirse en ella con preguntas acerca de las raíces del pensamiento, y eso solo se logra, a través de procesos de investigación, en unidad con el sector empresarial y público, donde se generen sinergias que puedan replantear una mejor sociedad, más sostenible en el tiempo y amigable con el medio ambiente.

6.4. Referencias Bibliográficas

- Acevedo Picón, E. D. (2019). Uso de semillas de moringa (moringa oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de Rio Negro, Rio De Oro y Quebrada Floridablanca, Santander. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agropecuarias. Universidad de Santander. Bucaramanga - Colombia. Recuperado de: <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/1050>
- Arias, B. N. (2016). El consumo responsable: Educar para la sostenibilidad ambiental. Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, 4(1), 29-34.
- Brancatelli, R., & Swirski Souza, Y. (2016). The Role of the Jesuit University in the Evolving "Innovation Triangle" of Business, Government, and Academia. Journal of technology management & innovation, 11(1), 65-68.
- CODS (2018). Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe. Universidad de los Andes. Recuperado de: <https://cods.uniandes.edu.co/>
- Drucker, P. (2004). La disciplina de la innovación. Harvard business review, 82(8), 3-7.
- Ecopetrol (2018). Ecopetrol y AES pusieron en operación Parque Solar Castilla. Noticias Ecopetrol. Recuperado de: https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalleNoticias/!ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zi_YzMnA09TQwDDFyMLQ0CXd2cjdZMLYwMnI31g1OL9QuyHRUBV7CkFQ!!/
- García, M. L., & Vergara, J. M. R. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 473-486.
- Gebert, A., Muller, R., & Casagrande, D. (2018). ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Feira Regional de Matemática do RS, 1(1).
- Gil, H. A., Cisneros, J. M., Dante de Prada, J., Plevich, J. O., & Sanchez Delgado, A. R. (2013). Tecnologías verdes para el aprovechamiento de aguas residuales urbanas: análisis económico. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 8(3).

Tratamiento de aguas residuales de Café empleando el Proceso de Fenton

María Fabiola Arenas Estévez

fabiola.arenas@unilibre.edu.co

Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Libre Seccional Socorro

7.1. Resumen

Las operaciones de despulpado y desmucilaginado del café generan residuos líquidos caracterizados por pH ácidos, alta concentración de DQO e índice de biodegradabilidad entre 0,48 y 0,53. Para determinar los factores incidentes y condiciones óptimas al aplicar el proceso Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{FeSO}_4$) para la remoción de DQO en aguas residuales se dosificó a diferentes rangos H_2O_2 , FeSO_4 y pH. Los tratamientos se aplicaron con velocidad de mezcla de 25 $\text{ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$ y tiempo de reacción de 60 minutos. Obteniéndose remociones de 48,4% en DQO y 73% en turbiedad, para la relación másica $\text{H}_2\text{O}_2/\text{DQO}$ de 0,68 y la relación molar $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{+2}]$ de 30,3.

Palabras claves: proceso Fenton, aguas residuales de café, H_2O_2 , oxidación química.

7.2. Introducción

Las aguas residuales provienen de la Hacienda Majavita ubicada en Socorro, Colombia donde las operaciones de despulpado y desmucilaginado del café con bajo consumo de agua generan residuos líquidos caracterizados por pH ácidos, alta concentración de DQO y relación DBO_5/DQO entre 0,48 y 0,53 se tratan empleando un separador hidráulico unido al Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico-SMTA desarrollado por Cenicafé las cuales aun después de su tratamiento, pueden causar un alto impacto a los ecosistemas (Matuk V., V., et al., 1997). Para mejorar las condiciones del efluente, se evaluará los factores incidentes en tratamiento de oxidación con el reactivo de Fenton.

La reacción propuesta por Henry John H. Fenton en 1894 para la oxidación de ácido tartárico utilizando una disolución de peróxido de hidrógeno y sales ferrosas ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{+2}$), a pH menores de 3 demostró capacidad para oxidar compuestos orgánicos a través de la generación de radicales hidroxilos (HO) como resultado de la descomposición catalítica del H_2O_2 en medio ácido (Tello, R., 2000). Una serie de reacciones donde ocurre la generación del radical (HO) (Ecuación 1) con potencial redox alto (-2,8) causan la oxidación de compuestos orgánicos en forma rápida y no específica (Ecuación 4), en la cuales se produce la regeneración del ion Fe^{+2} (Ecuación 2y Ecuación 3).

Ecuación 1 $Fe^{+2} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{+3} + HO^- + HO$

Ecuación 2 $Fe^{+3} + H_2O_2 \rightarrow Fe-OOH + 2H^+ \rightarrow Fe^{+2} + HO_2$

Ecuación 3 $Fe^{+3} + OH^- \rightarrow Fe(OH)^{+2} \rightarrow HO + Fe^{+2}$

Ecuación 4 $HO + RH \rightarrow \text{Productos de oxidación}$

Fuente: (Tello, R., 2000) y (Zhang., H., *et al.*, 2005)

El proceso Fenton es considerado como un tratamiento prometedor para aguas residuales por su fácil implementación a condiciones ambientales, y el aumento de la biodegradabilidad del agua tratada (Arroyave, J. A., *et al.*, 2012).

Los principales parámetros que influyen en el proceso de oxidación con el reactivo de Fenton son: el pH, la dosis de H_2O_2 y la relación H_2O_2/Fe^{+2} . El control del pH es determinante en la ocurrencia de las reacciones. A pHs próximos a 3,0 predomina la oxidación por generación del radical hidroxilo (HO) catalizada por el Fe^{+2} ; a pHs mayores de 5,0, se presenta además la reacción de precipitación del Fe^{+3} como hidróxido de hierro (III), con generación de lodo por procesos de coagulación-floculación (Sanabria, N. R.; Molina, R. a. M. S., 2012). De igual forma, en estudio previo (Kumar, B., *et al.*, 2012), la relación estequiométrica ($H_2O_2/\text{compuesto}$) se reporta entre 2 y 10 para la mineralización de compuestos solubles, sin embargo, en la práctica esta relación puede aumentar hasta 1000, por encontrarse el compuesto a reaccionar acompañado de otras sustancias oxidables. Ensayos para determinar la dosis de H_2O_2 requerida para aplicar a aguas residuales del proceso de beneficio del café con el reactivo de Fenton determinaron que empleando sólo el 17% de la dosis teórica calculada según (Ecuación 5) y al pH del agua residual de 4,26 se obtuvieron remociones del 60% de DQO y de 89% de sólidos totales (Ecuación 6), sin embargo, a un pH de 7 la remoción aumento a 84,4% para la DQO (Kumar, B., *et al.*, 2012).

Ecuación 5 $H_2O_2 \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2$ (libro ec 9)

Ecuación 6 $\frac{34 \text{ mg } H_2O_2}{16 \text{ mg } O_2} * DQO \left(\frac{\text{mg } O_2}{L} \right) * 17 \% =$
 Dosis de $H_2O_2 \left(\frac{\text{mg}}{L} \right)$

(libro ec 10)

Fuente: (Kumar, B., *et al.*, 2012).

Otro factor relevante es la $[Fe^{+2}]$ por alterar la cinética de la reacción, acelerándola al aumentar, sin embargo, la relación $[H_2O_2]/[Fe^{+2}]$ es significativa, porque cualquier exceso en un reactivo o catalizador da lugar a reacciones secundarias no deseadas. En ensayos reportados con aguas residuales de café aplicando la relación $[H_2O_2]/[Fe^{+2}]$ de 12,4 alcanzó 60% de remoción para DQO (Méndez, R., *et al.*, 2010).

El proceso de dosificación del reactivo Fenton en el trascurso de la poscosecha del café, inicia con el beneficio del fruto de café recolectado, que busca separar el mesocarpio o mucilago del endocarpio mediante técnica seca o húmeda.

7.3. Materiales y Métodos

La metodología aplicada constó de dos etapas: primero, determinación del tiempo óptimo de separación de sólidos flotantes del agua residual proveniente del beneficio de café, segundo, determinación de dosis óptima de H_2O_2 , empleando como catalizador hierro en fase homogénea aplicando $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

7.3.1. La determinación del tiempo óptimo de separación de sólidos flotantes

Se realizaron 30 pruebas de sólidos sedimentables empleando el método de sedimentación con conos Imhoff y registrando sólidos flotantes y sólidos sedimentables por un periodo de 12h.

7.3.2. Intervalo de dosificación Fenton fase homogénea

Para determinar los intervalos de dosificación y niveles de tratamientos para las variables H_2O_2 , $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ y pH del agua residual, se tomó como base la dosis aplicada en estudios reportados en la literatura y ensayos preliminares con aguas residuales del beneficio de café.

Las variables intervinientes se establecieron a partir de los ensayos preliminares así: tiempo de reacción de 1h, velocidad de agitación de 25 min⁻¹ en el floculador durante los primeros 5 min, a condiciones de temperatura y presión del laboratorio (Kumar, U., Ramesh, A. & Pallavi, 2012; Primo, 2008; Rodríguez S., 2000). Se efectuaron 81 ensayos y evaluaron 27 tratamientos en orden aleatorios, de arreglo factorial equilibrado con tres niveles de H_2O_2 , tres niveles de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ y tres niveles de pHs. Los tratamientos se repitieron tres veces. La mezcla se hizo en un equipo de floculación de 6 paletas con agitación múltiple. Los parámetros evaluados se muestran en la (Tabla 1).

Tabla 1 Métodos de determinación de parámetros evaluados

Determinación	Unidad	Método	Equipo
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O_2	Reflujo cerrado-colorimetría VIS SM 5220 D	Termoreactor TR420 marca Merck, Fotómetro Nova 60 marca Merck
Color aparente	UPC	longitud de onda 410 nm SM 2120 C	Fotómetro Nova 60 marca Merck
Turbiedad	UNT	Nefelométrico SM 2130 B	Turbidímetro 2100Q marca Hach
Conductividad	mS/cm	Electrométrico SM 2510 B	Conductímetro HI 8733 marca Hanna
pH	Unidad pH	pH-metro Inolab marca WTW	pH-metro Inolab marca WTW
Sólidos sedimentables	mL/L	Decantación cono Imhoff	Cono Imhoff
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O_2	Respirométrico	Incubadora Oxitop marca WTW

Fuente: Autor

7.4. Resultados y Análisis

7.4.1. Tiempo óptimo de separación y caracterización de aguas residuales

La separación de sólidos flotantes y agua residual inicia 4 h después del proceso de desmucilaginado, llegando a ser máxima pasadas 8h aproximadamente, con un aumento de agua clarificada de 672mL/L (67,2% v/v) en promedio (Figura 1).

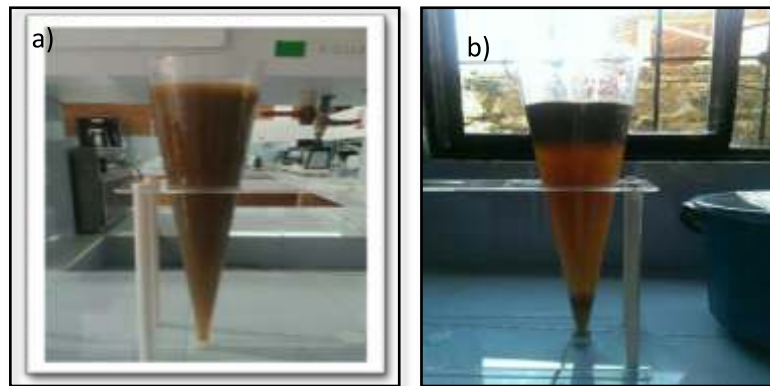


Figura 1 Separación del mucilago: a) Agua residual del café inicial). b) Agua residual separada 8h después.

Fuente: Autor

Posteriormente los sólidos flotantes se sedimentan disminuyendo el volumen de agua clarificada, a 208 mL/L después de 12 h, permaneciendo sin alteración pasadas las 24h como se presenta en la (Figura 1). Estos cambios en la distribución de los sólidos en las aguas residuales coinciden con cambios bioquímicos significativos que ocurren 8 horas después del desmucilaginado causados por fermentación del mucilago que disminuyen azúcares y lípidos con generación de ácidos reportado en estudios previos (Vega, H.; y Martínez, H., 2011) y (Sanabria, N. R., Molina, R. M. S., 2012).

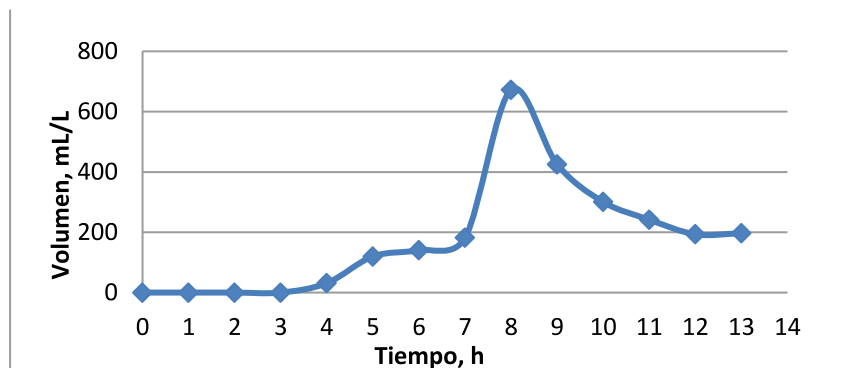


Figura 2 Volumen de agua residual clarificada con el tiempo

Fuente: Autor

El agua residual del desmucilaginado de café presentó alta acidez con 2400 mg/L y pH de 3,76, alto DQO con 25900 mg/L, color aparente de 7280 UPC y 30 mL/L de sólidos sedimentables (ver Tabla 2), características cuantitativamente mayores a las reportadas en estudios anteriores (Del Real, J., Islas, J., 2010), atribuibles al proceso de beneficio aplicado con bajo consumo de agua. Aproximadamente 8h después y separados los sólidos flotantes y sedimentados se obtuvo agua clarificada, por la separación de material suspendido reflejado en remoción del 89,0% de turbiedad, 67,1% del color aparente y 42,9% de DQO.

SEPARACIÓN SÓLIDOS FLOTANTES Y SEDIMENTABLES				
Parámetro	Unidad	Antes	Después	Remoción, %
Conductividad	mS/cm	1,51	1,25	17,2
Turbiedad	UNT	7280	801	89,0
pH	UpH	3,76	3,70	0,06*
Color Aparente	UPC	7600	2500	67,1
Sólidos Sedimentables	mL/L	30	15	50,0
Acidez	mg/L CaCO ₃	2400	1250	47,9
DQO	g/L O ₂	25,9	14,8	42,9
DBO ₅	g/L O ₂	--	8,3	--
Índice de biodegradabilidad (IB)	--	--	0,56	--

Fuente: Autor

7.4.2. Condiciones de dosificación el reactivo Fenton (H₂O₂/Fe⁺³)

El agua residual empleada para los ensayos de dosificación después de separada presentó pH de 3,9, alta DQO con 16638 mg/L y color aparente de 3030 UPC debido a material suspendido y disuelto (ver Tabla 3), mostrando mayores concentraciones de DQO a las reportadas en estudios anteriores con DQO entre 2905 mg/L - 9270 mg/L (Sanabria, N. R., Molina, R. M. S., 2012). Este aumento en la concentración de materia orgánica expresada como DQO se debe al bajo suministro de agua en el proceso de desmucilaginado empleado en la Hacienda Majavita, generando residuos líquidos de mayor concentración y bajo pH.

Tabla 3 Caracterización de las aguas residuales del despulpado de café

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD
DQO	16638	mg/L O ₂
Color Aparente	3030	UPC
Turbiedad	391	UNT
pH	3,9	UpH
Conductividad	1,37	mS/cm

Fuente: Autor

Con base en los ensayos preliminares se determinó el rango de respuesta para remoción de DQO y turbiedad. Para los niveles de dosificación 1 y 3 de las variables se tomó las dosis que obtuvieron el límite inferior y superior en el rango de respuesta. El nivel 2 se fijó para la dosis con la mayor remoción de DQO al pH del agua residual reportado en la (Tabla 4).

Tabla 4 Niveles de dosificación

VARIABLE	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
H ₂ O ₂	166 mM	270 mM	333 mM
Fe ⁺²	11 mM	22 mM	169 mM
pH	2,8	3,9	7,0

Fuente: Autor

Para el análisis de los efectos de la variación entre los diferentes tratamientos del porcentaje de remoción de DQO se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), encontrando que el modelo en general presentó notoria significancia al tener un valor de $p \leq 0,0001$; las variables que influyeron en la disminución de DQO fueron las dosis de H₂O₂ y Fe⁺², en contraste, el cambio en el pH no fue estadísticamente significancia (p -valor de 0,7852). Sin embargo, se presentaron interacciones significativas entre pH - Fe⁺² y pH-H₂O₂.

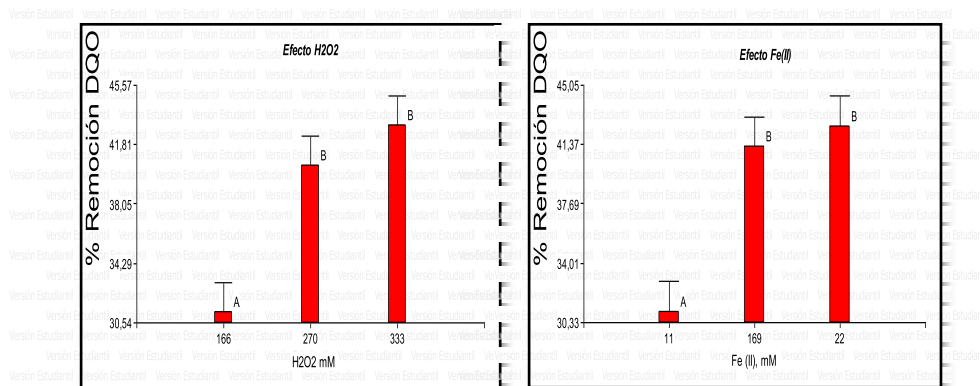


Figura 3 Porcentaje de remoción de DQO con la dosis de H₂O₂ y FeSO₄.7H₂O
Remoción de DQO: a) Efecto dosis H₂O₂. b) Efecto dosis de Fe⁺²

Fuente: Autor

En el análisis de efectos sencillos por las variables se observó que la remoción de DQO incrementa al aumentar la dosis de H₂O₂, sin embargo, la diferencia es significativa para la dosis de 270 mM con remoción de 40,5 %, observándose que al aumentar la dosis de H₂O₂ la remoción no fue estadísticamente significativa al no superar la Diferencia mínima significativa (DMS) señalada con B en la (Figura 3, a). Con la variable Fe⁺² se presentó aumento de la remoción de DQO (media 42,5%) para la dosis 22 mM, con una disminución no significativa al aumentar la cantidad de Fe⁺², como se observa en la (Figura 3, b) y señalada con DMS B.

Para el análisis de los efectos por interacciones entre las variables, es importante en la remoción de la DQO los cambios en el pH con relación a la dosis de H₂O₂ como se puede observar en la (Figura 4). A pHs ácidos (2,8 y 3,9) al aumentar la dosis de H₂O₂ aumenta la remoción de DQO, siendo la mayor remoción de 47,6 % a pH de 3,9 y dosis de 333mM de H₂O₂, difiriendo con lo observado a pH 7, que al disminuir la dosis de H₂O₂ (333 mM, 270 mM y 166mM) aumentó la remoción de DQO (35,7%; 37,3% y 38,7%) sin que las diferencias fueran estadísticamente significativas, señalado en la (Figura 4).

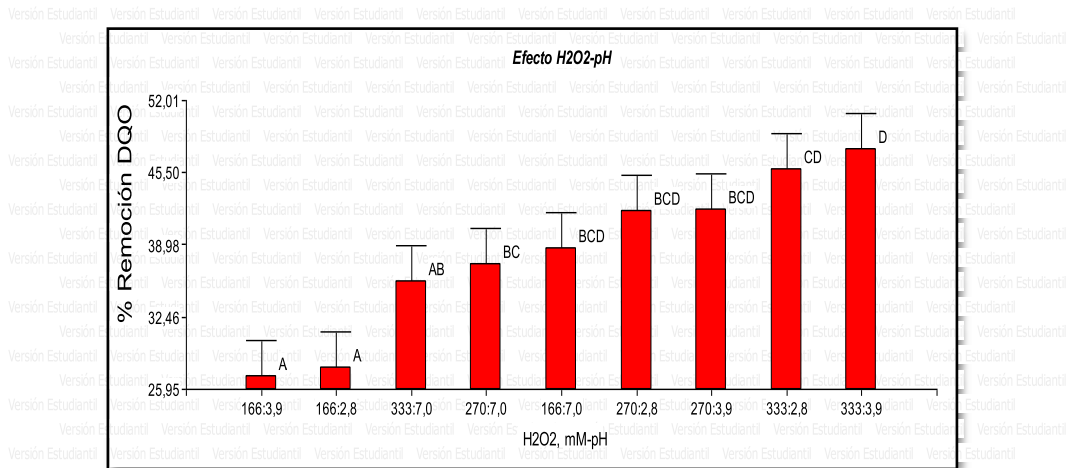


Figura 4 Porcentaje de remoción de DQO según interacción H₂O₂-pH
Fuente: Autor

La interacción entre la dosis de Fe⁺² y pH mostró alta significancia, las mayores remociones se presentaron a pH de 7 para dosis de Fe⁺² entre 22mM y 169 mM. La mayor remoción de DQO con 49,6% se presentó a pH 7 y dosis de 22 mM de Fe⁺² que indica un requerimiento óptimo de Fe⁺² para la reacción.

7.4.3. Análisis de remoción de DQO a pH 3,9

Para los tratamientos aplicados al agua residual del café sin ajuste (pH de 3,9) se mantienen las tendencias en la dosificación del H₂O₂, sin embargo, aumenta el requerimiento de Fe⁺² presentándose la mayor remoción 51,8% para dosis de 333 mM de H₂O₂ y 169 mM de Fe⁺². La relación disminuye para las 3 mayores remociones de 30,3 a 1,6 y 2,0 con remociones (48,4%, 48,9% y 51,8%), indicando requerimientos altos de agente oxidante y catalizador como se puede observar en la (Figura 5). disminuye para las 3 mayores remociones de 30,3 a 1,6 y 2,0 con remociones (48,4%, 48,9% y 51,8%), indicando requerimientos altos de agente oxidante y catalizador como se puede observar en la (Figura 5).

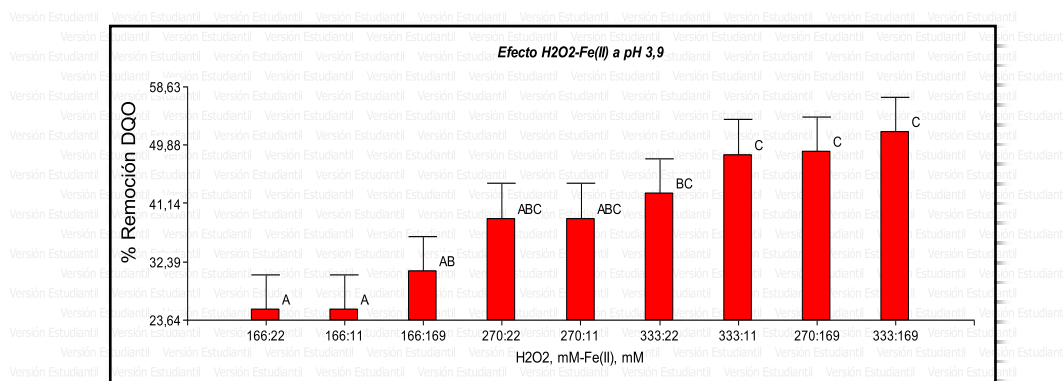


Figura 5 Porcentaje de remoción de DQO según interacción H₂O₂-Fe +2 a pH 3,9
Fuente: Autor

Para el análisis de los tratamientos sobre la remoción de turbiedad, el modelo en general presentó significancia para las variables de H₂O₂ y Fe+2.

En el análisis de efectos de la dosis de H₂O₂ se observó que al incrementar la dosis aumenta la remoción de turbiedad, observándose una diferencia significativa para la dosis de 333 mM con una remoción de 62,5% de Turbiedad, como se observa en la (Figura 6, a).

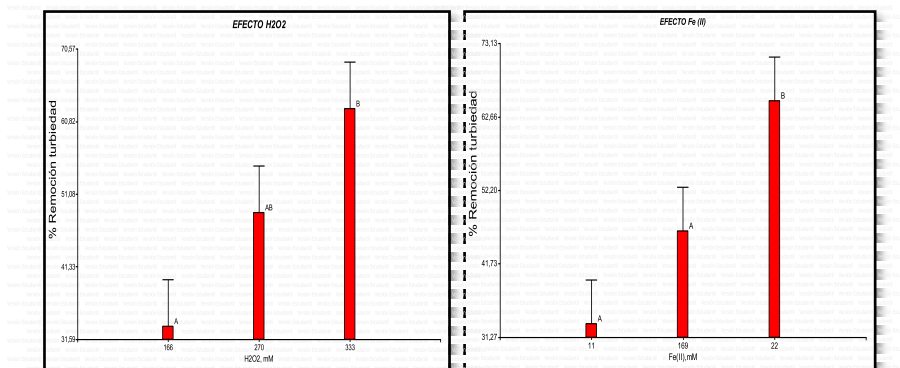


Figura 6 Porcentaje de remoción de turbiedad con la dosis Remoción de Turbiedad: a) Efecto dosis H₂O₂. b) Efecto dosis de Fe+2
Fuente: Autor

Al observar el efecto del Fe+2 la mayor remoción de turbiedad fue de 64,9% a una dosis de 22 mM, disminuyendo la remoción para dosis mayor o menor, (ver Figura 6, b). El comportamiento de las variables H₂O₂ y Fe+2 para la remoción de turbiedad es similar al mostrado para la remoción de DQO. Aunque estadísticamente el pH no fue significativo, las mayores remociones de turbiedad se presentaron a pHs 7, obteniéndose 87,7% para la dosificación de 333mM H₂O₂, 22mM Fe+2 y pH 7.

7.5. Conclusiones

Para disminuir la carga del agua residual del proceso de despulpado y desmucilaginado de café con bajo consumo de agua en la Hacienda Majavita ubicada en Socorro Santander - Colombia, se aplicó el reactivo de Fenton ($H_2O_2 + Fe^{+2}$) al agua residual previa separación de sólidos flotantes se obtuvieron los siguientes resultados:

- El tiempo óptimo de separación de sólidos flotantes y sedimentados del agua residual fue de 8h después del desmucilaginado del café, con 67,2 % v/v de residuos líquidos clarificados; obteniendo remociones del 89,0% en turbiedad, 67,1% en color aparente y 42,9% en DQO. El agua clarificada presentó un contenido de DQO de 16,6 g/L, turbiedad de 391 UNT y pH de 3,9, indicando la presencia de materia orgánica suspendida y disuelta, con pH ácido.
- La aplicación del tratamiento de oxidación avanzada con H_2O_2 , $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ y pH dentro del rango de trabajo, permitió establecer que en todos los tratamientos se presentó remoción de DQO, turbiedad, generación de sólidos sedimentables, aumento del color aparente, conductividad y acidez del agua tratada.
- Se observó con el aumento de la dosificación de H_2O_2 incremento en la remoción de DQO y turbiedad, disminuye la generación de sólidos sedimentables y se aumenta la acidez de agua tratada, evidenciando el significativo efecto del H_2O_2 sobre el proceso. Por otra parte, al disminuir la dosificación de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, se reduce la generación de sólidos sedimentables, el color aparente y acidez del efluente. Estos resultados demuestran el efecto significativo del Fe^{+2} sobre el proceso y permiten concluir que el porcentaje de remoción de DQO depende de dos variables: la concentración de H_2O_2 y la concentración de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Por otra parte, la variación de pH del agua residual no mostró estadísticamente su influencia sobre la remoción de DQO.
- Las condiciones de dosificación que permitieron la mayor eficiencia en la remoción de DQO en las aguas residuales de desmucilaginado de café al pH del agua residual de 3,9, se obtuvieron al adicionar 333mM de H_2O_2 (11,3 g/L) y 11mM de Fe^{+2} (3,1 g/L de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$). Bajo esta condición se alcanzó una remoción del 48,4% en DQO, 73% en turbiedad, aumentó del 22,2 % del color aparente, se generaron 18,3 mL/L de sólidos sedimentables y un pH de 2,4, aplicando agitación inicial por 5 min y velocidad de 25 ciclos*min⁻¹ y tiempo de reacción total de 1h.
- Del presente estudio se concluye que procesos de oxidación con el reactivo de Fenton es un tratamiento competente y rápido para aguas residuales de desmucilaginado de café empleando $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ como catalizador homogéneo.

7.6. Referencias Bibliográficas

- Arroyave, J. A.; Garcés, L. F.; Arango, A. (2012). Mineralización del colorante Tartrazina mediante un proceso de oxidación avanzada. *Lasallista de Investigación*. 6 (2), 46 - 53
- Azabou, S. e. a. (2007). Catalytic wet peroxide photo-oxidation of phenolic olive oil mil Wasterwater contaminants Part II. Degradation and detoxification of low-molecular mass phenolic compounds in model and real effluent. *Applied Catalysis B: Environmental*. 77, 166 - 174
- Del Real, J.; Islas, J. Biodegradación anaerobia de las aguas generadas en el desulpado del café. *Colombiana de Biotecnología 2010*, XII (2), 230 - 239
- Doménech, X., Jardim, W.F., Litter, M.I. J. A. (2001). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea. Eds. M. Blesa. La Plata, Argentina. pp. 1-26.
- Infostat. Software estadístico. (2015). En línea: <http://www.infostat.com.ar/>
- Ipiña, S. L.; Durand, A. I. (2008). Inferencia estadística y análisis de datos; Pearson Educacion S.A., Madrid. pp.318-326 y 377-389
- Junior, S. A.; De Sousa, J. F.; Benachour, J. F.; y Rojas, L. O. (2011). Oxidación Húmeda de Fenoles con Catalizadores Fe-CeO₂, K-MnO₂/CeO₂/ Paligorsquita Fe/Paligorsquita. *Información Tecnológica 2011*, 22 (3), 55-68
- Matuk V., V., Puerta Q., G.I., Rodríguez V., N. (1997). Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. *Cenicafé* 48(4): 234-252.
- Méndez, R.I., Pietrogiovanna, J.A., Santos, B., Sauri, M.R., Quintal, C.A., Giacomán, G., Castillo, E.R., (2010). Determinación de la dosis óptima de reactivo fentón en un tratamiento de lixiviados por fenton. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 26 (3), 1.
- Ortiz, P., Ovalle, S.A., Blanco, C., Combariza, M.Y. (2013). Síntesis in situ de nanopartículas de óxidos de hierro soportadas en fibras de fique y su uso en la degradación de colorantes. *Revista Colombiana de Materiales* N.5, pp.1-7. En línea: <http://www.repositoriouis.edu.co>.
- Kumar, B.; Ulavi, S.; Ramesh, H. S.; Asha, G.; & Pallavi, R. Pretreatment of Coffee pulping Wasterwater by Fento´s reagent. *Journal of Chemical Technology 2012*, 19, 213 - 217
- Sanabria, N. R.; Molina, R. a. M. S. (2012). Development of Pillared Clays for Wet Hydrogen Peroxide Oxidation of Phenol and It's Aplication in the Posttreatment of Coffee Wasterwater. *International Journal of Photoenergy*, 17
- Serpa. (2014). Investigación con mucha fibra. *Rev. Cátedra Libre.* (168)14-15. En línea: <http://www.repositoriouis.edu.co>.
- Tello, R. (2000). Optimización de Tecnologías Fotocatalíticas de Oxidación avanzada Aplicada al Tratamiento de Residuos Líquidos de Laboratorio.; Tesis Doctoral; Universidad de las Palmas: Gran Canaria.
- Zhang, H., Choi., H.J., Huang, Ch.P. (2005). Optimization of Fenton process for treatment of landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 125, Issues 1 - 3, 166 - 174. ISSN 0304-3894. En línea: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.05.025>.

Sistemas de Captación, Recolección y Distribución de Aguas Lluvias “Una Perspectiva Sostenible”

Sandra Liliana Cristancho Cruz¹, Edgar Quintanilla Piña²,
Karen Andrea Torrado³, María del Pilar Guauque Torres⁴,
Cesar Augusto Alba Rojas⁵, Antonio Sierra Ferreira⁶

sandra.cristancho@unilibre.edu.co; edgarq.pina@unilibre.edu.co; ka.torrado@mail.udes.edu.co;
pilar.guauque@unilibre.edu.co; cesara.albar@unilibre.edu.co; tonosierra22@hotmail.com

Docente investigador - Facultad Ciencias de la Educación, Programa de ingeniería Ambiental Universidad Libre Seccional Socorro; Programa de Tecnologías en Ingeniería de la Universidad de Santander.

8.1. Resumen

El agua lluvia es uno de los recursos naturales, que a través de los tiempos no se ha explorado a fondo, pero que debido a los grandes cambios climáticos que se están presentando en las diferentes regiones del país, se ha intensificado por parte de diferentes sectores la implementación de reutilizar este recurso y de una u otra forma contribuir con el medio ambiente sin generar alteraciones en el proceso climático.

La universidad de Santander UDES y La universidad Libre seccional Socorro UNILIBRE, han unido fuerzas para fomentar proyectos de educación ambiental, en los cuales se enmarque el aprovechamiento de estos recursos y se puedan recuperar zonas y sectores vulnerables en épocas de verano, donde las zonas verdes se deterioran y ello conserva al desequilibrio del entorno natural; si se tiene un sistema de almacenamiento y distribución el cual ayude a mitigar esta situación, de la misma forma el sistema no solo se propone para las zonas verdes sino también en aparatos sanitarios de instituciones educativas o para hacer limpiezas de zonas públicas.

Para realizar estos procesos se deben identificar zonas donde se capten aguas lluvias, y conducir esta captación a un almacenamiento donde se puedan acumular durante tiempos considerables y teniendo en cuenta filtros para que no se tengan sólidos suspendidos en este proceso, posteriormente por medio de un sistema de gravedad (teniendo en cuenta el análisis de la topografía) determinar puntos sanitarios y realizar un trazado de tuberías para distribuir el agua a cada uno de estos sitios.

Por otra parte, la realización de campañas de educación ambiental que propicien espacios de participación en la comunidad educativa a fin de fortalecer a los niños y niñas de las sedes involucradas del colegio en temas de recolección de aguas lluvias, toda vez que la intención sería de mejorar la calidad de agua para consumo humano.

Palabras clave: Aguas lluvias, captación, sensibilización, alfabetización.

8.2. Introducción

El consumo de agua es vital para la producción animal y vegetal, de los seres vivos para poder sobrevivir a nuestras necesidades diarias; el aprovechamiento del agua lluvia y sus diferentes usos, es una práctica que contribuye con el ambiente y se puede presentar como una solución económica lo cual pueda disminuir el consumo de agua potable en las instituciones educativas.

Este capítulo, aborda algunos aspectos que se desarrollaron en miras a determinación la calidad de aguas lluvias en zona rural del Colegio Alberto Santos Buitrago, del socorro - Santander, comunidad de niños de escuela rural. En realidad, las aguas lluvias, que se recolectaban en días lluviosos, representaba para los niños una alternativa para recolectar éste preciado recurso, en donde se buscaba alternativas para su aprovechamiento y uso en labores domésticas como lavado de manos, descarga para los sanitarios, lavado de zonas comunes y consumo humano como para el servicio de comederos escolares.

Por ello, para el desarrollo de este capítulo, se estudiaron varios aspectos fundamentales, entre ellos el volumen de agua lluvia disponible en las zonas estudiadas, así como el análisis físico -químico de las mismas, y la estimación de captación de agua del el aljibe y el sistema de bombeo; para la proyección de ahorro generado a esta solución propuesta. Este estudio incluye dos escuelas rurales donde se albergan alrededor de 50 niñas y niños, 3 docentes encargadas de estos niños.

8.3. Descripción del problema

El cambio climático conlleva a la existencia de épocas de verano e invierno más severas que las habituales para los últimos años. Esto impacta de manera directa o indirecta el funcionamiento normal de los diferentes sectores económicos y de la sociedad en general. Uno de los recursos afectados es el hídrico, el cual tiene una gran importancia por ser parte de las funciones básicas de los seres humanos. La población puede adquirirlo a través de empresas de servicio público o directamente de las fuentes naturales cuando las viviendas o lugares de uso no se encuentran en el área de cobertura.

En el Municipio de Socorro - Santander, estas dos situaciones son de interés especial, teniendo en cuenta que por el cambio climático la condición de verano ha presentado temperaturas de aproximadamente de 35 °C según el DIAM y una disminución en las fuentes hídricas es muy considerable. Por otro lado, la cobertura de este servicio público cubre efectivamente la necesidad de toda la población, sin embargo, este servicio no es continuo y la población se ve obligada a gozar del servicio por horas y días durante la semana, en otras palabras, un razonamiento obligado. Pero en las zonas rurales alta del municipio se afectan más por los pocos caudales que se genera en época de verano, llevando a esto la sequía para abastecer las actividades del Colegio Alberto Santos Buitrago en sus dos sedes rurales.

Dentro de los diferentes lugares de consumo de agua en el municipio, son de vital interés los parques y colegios, debido a que son puntos de alta convergencia de adultos mayores y niños, quienes buscan espacios confortables para la formación y distracción. Además, porque se cuentan con 12 instituciones educativas de básica primaria y secundaria, 3 parques, los cuales por su

uniformidad pueden ser tratados de manera similar para cualquier solución a esta problemática. No obstante, teniendo en cuenta que existen 2 Universidades que ofrecen la posibilidad de estudios de educación superior, y que hacen parte de esta población vulnerable a los problemas de obtención de agua para consumo. Dentro de la zona rural alta del municipio del Socorro se encuentra un impacto directo a mayor escala que en las zonas urbanas, ya que en la época de verano los niños del Colegio Alberto Santos Buitrago en sus dos sedes rurales se encuentran sin el recurso hídrico, lo cual hace muy difícil sus horas de clases.

8.3.1. Pregunta problema

¿Es posible que por medio de un sistema de captación económicamente viable se pueda aprovechar el agua lluvia para reutilizarla y ayudar en época de veranos sectores vulnerables a esta situación, teniendo en cuenta el medio ambiente?

8.4. Justificación

La concientización de la importancia del recurso agua y de sus limitantes, conllevan a que la sociedad participe activamente en alternativas de ahorro y uso adecuado de este recurso, las cuales deben ser lideradas y estructuradas por entes gubernamentales en apoyo de la academia, con el fin de diseñar estrategias de impacto que propendan por garantizar el consumo mínimo vital de agua.

El diseño, implementación y mantenimiento de un sistema de uso de agua lluvia permite que este recurso llegue a población con o sin cobertura del servicio público. Permitiendo disminuir el consumo de agua tratada para el primer caso o la captación directa de la fuente hídrica en el segundo. Definir el alcance del sistema de agua lluvia para colegios y parques rurales, permitirá de manera directa e indirecta disminuir costos por consumo de agua potable, mejorar zonas verdes y crear cultura de cuidado al medio ambiente en menores de edad como futuro del municipio y de Colombia, y en adultos como cuidadores y replicadores de experiencias.

8.5. Estado del arte

En esta investigación se muestra que los sistemas de captación de aguas pluviales, aunque dependen directamente de la precipitación de la zona, son una importante fuente alterna de abastecimiento, además de que representan una alternativa tecnológica viable, cuyo fomento contribuiría a enfrentar de manera eficaz el problema de acceso y disponibilidad de agua. Estos sistemas, cuyo empleo data de épocas prehispánicas, no solo resultan importantes para el uso humano, sino también constituyen una fuente de abastecimiento pecuario y agrícola para zonas rurales, cuya topografía, aislamiento, dispersión de caseríos, falta de fuentes de suministro, entre otros, restringen este acceso. También se presenta una clasificación de los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, su impacto en la sociedad y limitaciones, se hace un análisis general y finalmente se dan las conclusiones, en las cuales se enfatiza sobre la necesidad de aprovechar eficientemente los recursos hídricos con tecnologías alternativas que sean de bajo costo y fáciles de implementar. (Pino, 2010).

Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Se presenta la implementación de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, para conocer su calidad, se realizaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos basados en la normatividad vigente en México. Los resultados microbiológicos mostraron diversos tipos de bacterias como bacilos, cocos y Coliformes, mientras que los fisicoquímicos reportaron concentraciones bajas de Sólidos Suspendidos Totales (8.9 mg/L), Demanda Biológica de Oxígeno (2.7 mg/L), Demanda Química de Oxígeno (6.7 mg/L) y Carbón Orgánico Total (1.9 mg/L). Este trabajo, propone una adaptación de un sistema de captación en una edificación ya construida con un tren de tratamiento, el cual debe proporcionar la calidad del agua adecuada para las necesidades actuales. (Rojas-Valencia, Gallardo-Bolaños, & Martínez-Coto, 2012).

Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del pacífico colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o déficit del recurso. El proyecto presenta como objetivo abastecer de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso, mediante el aprovechamiento de aguas lluvia; gracias al diseño de un sistema que permitiera la recolección, almacenamiento y conservación para el consumo directo, contribuyendo a disminuir el riesgo de enfermedades causadas por problemas de saneamiento básico e higiene. Metodológicamente emplearon varios parámetros de diseño, en donde se tuvo en cuenta la ergonomía del producto, peso máximo admisible y variables en el manual de cargas; entre otros aspectos relevantes en la investigación. Finalmente se generó un documento monografía donde se da a conocer opciones de sistema de captación de aguas lluvias. (Arango Escobar & Florez Cardona, 2012)

Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Este proyecto presenta la ingeniería conceptual de una propuesta de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable; como objetivos principales tienen en cuenta: el cálculo de volúmenes disponibles de agua lluvia en la zona; la evaluación del volumen de agua potable ahorrado con el aprovechamiento de agua lluvia; la construcción del sistema y proyección.

Este trabajo trata sobre los problemas de drenaje en la ciudad de Bogotá, soluciones, alternativas y diferentes perspectivas; todo dentro de un marco comparativo a ciudades con problemas similares, y como estas han solucionado sus dificultades con respecto a la captación de aguas. Propone medidas aplicables para la captación de aguas lluvias y residuales que sean conscientes de las condiciones económicas y políticas de nuestra ciudad y así mismo realizar un marco investigativo donde se muestre la capacidad para construir un sistema de drenaje urbano para diferentes sectores de Bogotá. Para el desarrollo de los SUDS es necesario un impulso gubernamental, ya que, la mayoría de los proyectos que estos requieren son de gran tamaño y exigen niveles de compromiso y un contacto directo con la sociedad en pos del mejoramiento de su calidad de vida; por esta razón es obligatorio un compromiso profundo de parte de entidades administrativas encaminados a esta causa, para de esta manera, incentivar a los entes privados mediante

campañas y estímulos que les permitan observar los beneficios de los SUDS. (Hernández, & Macea, 2014).

8.6. Objetivos

8.6.1. Objetivo general

Determinar la calidad de aguas lluvias (físico, químico y microbiológico), análisis topográfico y estudio costo-beneficio en zona rural del Colegio Alberto Santos Buitrago Municipio del Socorro, Santander.

8.6.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar y analizar la calidad de agua lluvia definir sus posibles usos, a partir de un análisis fisicoquímico y biológico.
- Estudiar Examinar la precipitación durante un año por medio de pluviómetro dentro de intervalos de tiempo (0, 15,30, 45, 60 min) de duración de lluvia

8.7. Marco referencial

El agua lluvia es un recurso natural gratis, y se debe garantizar que no entre en contacto con el suelo y las rocas, donde se disuelvan las sales y los minerales; por lo tanto, es suave y puede reducir significativamente la cantidad de jabones y detergentes para la limpieza, el agua lluvia es ideal para la irrigación de los jardines, cultivos y algunos aparatos sanitarios. La lluvia no es más que la precipitación de agua desde las nubes hacia el suelo de la tierra. Esta caída de agua se produce a partir de la condensación del vapor de agua que se encuentra dentro de las nubes y que, al volverse más pesado, cae por efecto de la gravedad. Siempre está en estado líquida.

Para la captación de agua lluvia, es necesario establecer un sistema in situ, el cual requiere conocer información sobre una serie de factores, tales como el tamaño del área a ser utilizada, el suelo, la topografía, la cantidad y la distribución de las lluvias, la disponibilidad de equipos y mano de obra. El almacenamiento de agua captada por los techos puede ser en tanques de diversas características, desde uno o varios recipientes, se debe discutir varias alternativas existentes para la construcción de tanques o una estructura similar a un tanque que almacene. Las dimensiones dependen de la cantidad de agua que se requiera retener durante cierto tiempo. Para garantizar que el agua almacenada llegue a los puntos de consumo, se debe contar con redes hidráulicas tales como conjunto de tubería, accesorios, equipos, grifería y aparatos sanitarios, entre otros, los cuales permiten la distribución del agua dentro de una edificación u otro lugar de interés como zonas verdes de parques y colegios.

Por otra parte, (Orellana, 2005) menciona la importancia de las características físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas naturales y potables, teniendo en cuenta que el agua contiene diversas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. Desde el momento que se

condensa en forma de lluvia, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo. Además, el agua contiene organismos vivos que reaccionan con sus elementos físicos y químicos. Por estas razones suele ser necesario tratarla para hacerla adecuada para su uso como provisión a la población. El agua que contiene ciertas sustancias químicas u organismos microscópicos puede ser perjudicial para ciertos procesos industriales, y al mismo tiempo perfectamente idóneo para otros. Los microorganismos causantes de enfermedades que se transmiten por el agua la hacen peligrosa para el consumo humano.

Por ello, es importante conocer los requisitos de calidad para casa uso a fin de determinar si se requiere tratamiento y qué procesos se deben aplicar para alcanzar la calidad deseada. Los estándares de calidad también se usan para vigilar los procesos de tratamiento y corregirlos de ser necesario. El agua se evaluará en cuanto a su calidad ensayando sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Es necesario que los ensayos que evalúan dichos parámetros de calidad deben tener aceptación universal a fin de que sean posibles las comparaciones con los estándares de calidad según parámetros y límites permitidos en EEUU y la OMS (Organización Mundial de la Salud).

La implementación de estrategias pedagógicas que contribuyan al reconocimiento y concienciación del verdadero uso del agua en la población colombiana viene siendo uno de los componentes esenciales en los proyectos educativos que desde el MEN se proponen y que las instituciones educativas están considerando realizarse año tras año; ésta a su vez se considera una herramienta esencial para generar conciencia ciudadana. Teniendo en cuenta lo anterior, y desde el punto de vista de (Dublín, 1992) en donde hace referencia en que el uso eficiente de agua a nivel mundial se ha convertido en una necesidad crucial para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, considerándolo como un “recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente”, teniendo en cuenta que su “gestión debe basarse en un enfoque participativo, involucrando a usuarios, planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.

8.7.1. Marco legal

“En cuanto al derecho al agua, la sentencia T-413 de 1995 señaló que cuando éste se refiere a la salud humana y a la salubridad pública es un derecho fundamental. Igualmente, afirmó que es prioritario atender necesidades domésticas y garantizar agua potable para la familia”. Derecho al agua. Jurisprudencia constitucional en Colombia.

La sentencia T-717/10 de la Corte Constitucional menciona sobre el derecho al agua potable: “Toda persona tiene derecho fundamental prima facie a disponer y acceder a cantidades suficientes, y de calidad, de agua apta para el consumo humano /DERECHO AL AGUA POTABLE - desconexión, suspensión o racionalización del servicio público de acueducto supone una interferencia en este derecho, debe ser justificada por quien la adelanta”. Sentencia T-717/10 Corte Constitucional Colombiana.

Decreto 1575 de 2007. Capítulo II. Art 3: CARACTERÍSTICAS DEL AGUA PARA CON SUMO HUMANO. Las características físicas, químicas y microbiológicas, que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, así como los criterios y valores máximos aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano o, serán determinados por los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en un plazo no mayor a un (1) mes contado a partir de la fecha de publicación del presente decreto.

Decreto 1575 de 2007. Capítulo III. Art 4(Corte Constitucional, 2016). RESPONSABLES. La implementación y desarrollo de las actividades de control y calidad del agua para consumo humano, será responsabilidad de los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el Instituto Nacional de Salud, las Direcciones Departamentales Distritales y Municipales de Salud, las personas prestadoras que suministran o distribuyen agua para consumo humano y los usos diarios, para lo cual cumplirán las funciones indicadas en los artículos siguientes.

8.8. Marco Metodológico

8.8.1. Localización

El proyecto de investigación se realizó en las sedes rurales del colegio Alberto Santos Buitrago sede E y F, localizadas en el municipio del Socorro Santander, la sede de alto de chochos se encuentra a una elevación de 1794 m.s.n.m, con unas coordenadas planas 6° 27'43.1 "N y 73° 12'29.9" W. Con una temperatura promedio de 24 °C.



Figura 1 Ubicación satelital Sede Alto Chochos

Fuente: Google Eart. La sede F “El Bosque -rivera” se encuentra a una elevación de 1750 m.s.n.m, con unas coordenadas planas 6° 27'19.3“N y 73° 11'06.3” W. Con una temperatura promedio de 14 °C.

8.8.2. Tipo y alcance de la investigación

- Descriptiva porque vamos a determinar las características fisicoquímicas del agua recogida por medio de varios análisis meticulosos.
- Correlacional porque vamos a medir la relación entre la duración de los aguaceros y la cantidad de agua que recolectemos en cada uno de ellos.

8.8.3. Definición de variables e indicadores

Tabla 1 Variables y su clasificación

Tipo de variable	Variable	Unidad
Dependiente	Cantidad	L
	Área Tejados	m ²
Independiente	Tiempo Recolección	día
	Volumen de agua	Alto, medio, bajo
Intervinientes	Turbiedad	UNT
	Color aparente	UPC
	Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l
	Alcalinidad	mg/lCaCO ₃
	Dureza Cálrica	mg/lCaCO ₃
	Dureza total	mg/lCaCO ₃
	DBO ₅	mg/l O ₂
	DQO	mg/l O ₂
Coliformes fecales y totales	UFC/100 ml	

Fuente: Autores. Los indicadores utilizados para la evaluación de la remoción y calidad del agua en el sistema son los exigidos en la resolución 2115 del 2007.

8.8.4. Técnicas de investigación

La técnica utilizada para la recopilación de la información en la investigación fue el trabajo de campo tomando muestras de agua directamente de los puntos hidráulicos y tanque de almacenamiento, realizando mediciones in situ de las propiedades físicas y las químicas llevadas a laboratorio para su posterior análisis.

8.8.5. Materiales

El muestreo se llevó a cabo con botellas plásticas en la recolección de 2 litros cada uno y se tuvieron en cuenta 4 puntos para la toma de muestras; fueron el tanque de abastecimiento y el punto hidráulico del baño en la sede de alto de chochos y en la sede bosque rivera en los puntos hidráulicos del baño y la cocina.

8.8.6. Procedimiento

El estudio se ejecutó de acuerdo con cada uno de los objetivos específicos:

- En la primera parte se realizó una visita previa a las escuelas, para determinar que parámetros se iba a llevar a cabo en el estudio; lo cual se identificó que los tejados de las escuelas no son óptimos para hacer su recolección de aguas lluvias debido a que son de asbesto cemento, las cuales pueden ser cancerígenas. Hay evidencia obtenida a través de estudios, tanto en personas como en animales de laboratorio, que demuestran que el asbesto puede incrementar el riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer. (American Cancer Society, 2017).
- En la segunda parte se realizó visita a cada una de las escuelas, para realizar los análisis físicos de las aguas del aljibe, tanque de almacenamiento y de los puntos hidráulicos de cada una de las sedes.
- En la tercera parte se visitaron las escuelas para hacer la recolección de las muestras de las aguas de cada uno de los puntos para llevarlas a laboratorio para su análisis químico.
- En la cuarta parte ya se realizó todos los análisis correspondientes los cuales se hace una pertinente comparación con la normatividad de consumo de agua potable para consumo humano con el agua suministrada a estas escuelas.

8.8.7 Población y muestra

En el periodo de estudio se realizó, la toma de muestras y realizando el análisis del agua mediante los indicadores turbiedad, color aparente, sólidos suspendidos, alcalinidad, dureza total, dureza cálcica, DBO5, DQO y microbiológicos. Para identificar cada una de las aguas de las escuelas. En total se tomaron 4 muestras compuestas en los periodos específicos del proyecto.

8.9. Resultados y Discusión

Calidad de las aguas de consumo Físico químicas de las sedes rurales del Colegio Alberto Santos Buitrago

A continuación, se presentan los resultados de las variables que se cuantificaron para caracterizar la calidad de las aguas de consumo de las cuales abastecen a las escuelas, en el caso la escuela de alto de chochos se abastece de un aljibe y es conducida a un tanque de almacenamiento y por parte de la sede E el Bosque Se abastece una parte del acueducto del páramo, durante las temporadas secas y de lluvia.

Muestra	Sede F Alto de chochos		
	Parámetros	Valor	Unidad
		M1	M2
			-
pH		7.02	7.73
Temperatura		21.8	21.7
			°C
Conductividad		150.8	230
			MOHMIS
Solidos disueltos totales		53.4	94.4
			PPM
Color	Claro con sólidos suspendidos	Cristalino aparentemente	-
Olor	Normal	Normal	-

Tabla 2 Parámetros físicos in situ

Fuente: Autores

Muestra	Sede F Alto de chochos			Sede E Bosque -Rivera		
	Parámetros	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
		M1	M2	M3	M4	
			-		-	
Alcalinidad		19.26	26.75	21.4	21.5	
					mg/lCaCo ₃	
Dureza Total		47.38	43.26	30.9	30.9	
					mg/lCaCo ₃	
Dureza Cálcica		55.62	57.68	49.44	49.44	
					mg/lCaCo ₃	
Solidos volátiles totales		0.2	0.2	0.2	0.2	
					mg/l	
Solidos fijos totales		0.1	0	0	0	
					mg/l	
Solidos Totales		0.3	0.2	0.2	0.2	
					mg/l	
Coliformes Fecales		3	-	-	12	
					UFC/100 ml	
Coliformes totales		1718.5	-	-	1732	
					UFC/100 ml	
Mesófilos		1175	-	-	1410	
					UFC/100 ml	

Tabla 3 Parámetros químicos Sedes E y F, Colegio Alberto Santos Buitrago

Fuente: Autores

En la (Tabla 3), se presentan los datos de las variables de medida en cada una de las fuentes hídricas durante épocas de lluvia, se observa que las características fisicoquímicas y microbiológicas, de los dos efluentes se encuentran relativamente iguales, aunque presentan diferencias entre los valores, estos casos son dentro de la misma problemática. Pero se puede observar que en sus pH se encuentran ácidos y básicos, en cuanto a las concentraciones de alcalinidad de estas aguas es baja, lo que podemos deducir es su acidez es alta y no hay vida acuática en ninguna de las cuatro muestras. La dureza de esta presente agua es suave y con valoración de la resolución 2115 del 2007 es anta para agua potable, dada la normatividad de la 2115 de 2007, el agua es potable no tiene Coliformes y Mesófilos, así que con estos resultados esta agua no es acta para consumo humano por su gran contenido de estas bacterias microbiológicas.

En cuanto a la DQO que es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. Con los resultados no se muestra mayor grado de contaminantes en las muestras. Y para la DBO ya que es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra.

Según los resultados esperados estas aguas no se encuentran con contaminantes nocivos para el cuerpo humano no son significativos los sólidos que encontramos en cada muestra ya que sus valores son muy bajos, esto determina que el agua tiene pocos sólidos totales tanto volátiles como fijos. Presentado estos valores anteriormente nos puede arrojar que sus valores son de aguas blandas o naturales, aguas que con un tratamiento previo puedan ser consumidas potablemente.

En lo que se refiere a parámetros microbiológicos, se observa una mayor cantidad de colonias de Coliformes totales, fecales y Mesófilos en la captación de estas aguas, debido a que sus aguas en el caso de las muestras de la sede Alto de Chochos, su punto de captación se encuentra dentro de un cultivo de café y al ser aguas subterráneas no provee de un tratamiento posterior para ser consumidas y en el caso de las sedes se encuentran aguas arriba del punto de captación para sede el Bosque una parte es transportada por parte del acueducto del municipio del páramo; pero con estos datos, se infiere que es posible que su tratamiento no sea óptimo y no ese cumpliendo con la normatividad 2115 de 2007 en su punto de salida o también puede ser que el almacenamiento de estas aguas por un periodo considerable estén generando este aumento de bacterias en el agua y sean de problema de salubridad para estas dos sedes del colegio Alberto Santos Buitrago.

La verificación del cumplimiento de la normatividad vigente para agua potable en Colombia.

Características Físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Color y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Tabla 4 Características Físicas
Fuente: Autores

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0.02
Arsénico	As	0.01
Bario	Ba	0.7
Cadmio	Cd	0.003
Cianuro libre y disociable	CN	0.05
Cobre	Cu	1.0
Cromo total	Cr	0.05
Mercurio	Hg	0.001
Níquel	Ni	0.02
Plomo	Pb	0.01
Selenio	Se	0.01
Trihalometanos Totales	THMs	0.2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0.01

Tabla 5 Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la Salud humana.

Fuente: Autores

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5.0
Nitritos	NO ₂	0.1
Nitratos	NO ₃	10
Fluoruros	F	1.0

Tabla 6 Características Químicas que tienen implicaciones sobre la Salud humana Fuente: Autores

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ³⁺	0.2
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0.3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0.1
Molibdeno	Mo	0.07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3
fósforos	PO ₄ ³⁻	0.5

Tabla 7 Características Químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la Salud humana.

Fuente: Autores

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia Coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia - Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Tabla 8 Características microbiológicas.

Fuente: Autores

En las (Tabla 2 y Tabla 3) se presentan las comparaciones de los resultados de laboratorio obtenidos, en cada una de las fuentes hídricas evaluadas tanto como la sede el bosque como la sede de alto de chochos, frente a los criterios de las características físicas y químicas del agua para consumo humano establecidos en la resolución 2115 del 22 de junio de 2007, expedido por el ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, en el cual se establecen los criterios de calidad para los diferentes características físicas y químicas del agua para consumo humano de respectivas comparaciones indican que el agua de las dos sedes son aptas para el consumo humano, para pero lo cual requiere tratamiento convencional o únicamente desinfección, lo que se debe a que todos los parámetros comparables se encuentran dentro del límite normativo establecido en la mencionado resolución.

De acuerdo con los estándares de calidad establecidos en la Resolución 2115 de 2007, el agua de las dos sedes tanto como el bosque-rivera y alto de chochos cumple o está dentro de los valores límite para los parámetros fisicoquímicos, mientras, la calidad microbiológica sobrepasa dichos límites, por lo tanto, el agua cruda de las dos fuentes hídricas empleadas actualmente, no es apta para el consumo humano; requiere de tratamiento de potabilización que incluya desinfección para garantizar la ausencia de Coliformes totales ,fecales y Mesófilos.

8.10. Conclusiones

De acuerdo con la resolución 2115 de 2007 para el agua de consumo de las dos sedes del colegio Alberto santos Buitrago es apta para el consumo humano, pero se recomienda hacer un plan de mejoramiento de estas aguas para que sean óptimas para el consumo humano.

Se recomienda a la Junta Administrativa del colegio Alberto santos Buitrago y a la Alcaldía municipal, realizar un control periódico de las aguas crudas de estas veredas donde se encuentran ubicadas estas escuelas, analizando la totalidad de parámetros recomendados por la Resolución 2115 de 2007, en donde se incluyen los parámetros tanto fisicoquímicos, como microbiológicas. Con el fin de optimizar el uso del agua cruda por el aprovechamiento de las aguas lluvias para labores de mantenimiento de los planteles educativos.

8.11. Referencias Bibliográficas

- American Cancer Society. (2017). Obtenido de [https://www.cancer.org/es/cancer/ causas-del-cancer/asbesto.html](https://www.cancer.org/es/cancer/causas-del-cancer/asbesto.html)
- Beatriz, G. V. (enero de 2013). Universidad Nacional Autónoma De México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6137/Tesis.pdf?sequence=1>
- Becerra, N. G. (2014). Universidad De Manizales. Obtenido de CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA COMO ALTERNATIVA COMUNITARIA : http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1714/Gualdron_Becerra_Nelsy_2014.pdf?sequence=1
- Calle Maestre, Y. A., Archila Mendoza, O. J., & Vargas Ruiz, J. M. (2014). Universidad Católica De Colombia. Obtenido de ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA APROPIADA PARA LA DISPOSICIÓN DE AGUAS LLUVIAS. CASO DE ESTUDIO PARQUE INDUSTRIAL SANTO DOMINGO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA - CUNDINAMARCA: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1735/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20REVISION%20COMPLETA%2020%20ENERO%202015.pdf>
- Congreso Nacional Del Medio Ambiente. (2010). Captación de agua de lluvia, alternativa. Obtenido de Instituto politécnico Nacional: [www.conama10.conama.org/conama10/ download/ files/ CT%202010/41008.pdf](http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf)
- Flores, R. (21 de 03 de 2013). atl Portal de agua desde mexico. Obtenido de http://atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=6120:la-escasez-del-agua-un-problema-a-nivel-mundial&catid=50:eventos-extremos&Itemid=466
- Hernández, S. A., & Macea, F. A. (2014). Universidad Católica De Colombia. Obtenido de investigación para el desarrollo de sistemas urbanos de: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1744/1/Investigaci%C3%B3n-desarrollo-SUDS-Bogot%C3%A1.pdf>
- Nacional, R. (20 de 05 de 2004). Agua: La feria del desperdicio. EL TIEMPO.
- Nelsy, G. B. (2014). Captación de agua lluvia como alternativa comunitaria ante la escasez y la contaminación para el consumo humano y actividades agropecuarias en las veredas el saludo y la aguada del municipio de Lebrija Santander, Colombia. Obtenido de Universidad De Manizales: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1714/Gualdron_Becerra_Nelsy_2014.pdf?sequence=1
- ONU-Agua. (2006). Informe sobre Desarrollo Humano 2006 del PNUD. la FAO.
- Pino, D. E. (2010). Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable. Obtenido de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua : <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/4>

- Pino, D. E. (2010). Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable. Obtenido de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>
- República De Colombia. (2007). MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf
- Reyes, M. C., & Rubio, J. J. (2014). DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia.
- Universidad Nacional Autónoma De Mexico. (19 de enero de 2014). APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA COMO AGUA POTABLE. Obtenido de <http://vinculacion.dgire.unam.mx/Congreso-Trabajos-pagina/PDF/Congreso%20Estudiantil%202014/Proyectos%202014-%20C3%81rea/1.%20Ciencias%20Biol%C3%B3gicas/medio%20ambiente/2.3%20CIN2014A10025-%20Medio%20Ambiente.pdf>
- Universidad Politécnica de Cartagena. (s.f.). Análisis de las aguas. Obtenido de https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf
- Villegas, B. G. (Enero de 2013). Universidad Nacional Autónoma De Mexico. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6137/Tesis.pdf?sequence=1>
- (Pino Duran Escamilla, Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable, mexico,2010). <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>). (Beatriz Garcia Villegas. Caracterización del agua de lluvia captada en una edificación para su aprovechamiento con fines de sustentabilidad hídrica, tesis. mexico.2013 <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6137/Tesis.pdf?sequence=1>)
- Nelsy Gualdrón Becerra, captación de agua lluvia como alternativa comunitaria ante la escasez y la contaminación para el consumo humano y actividades agropecuarias en las veredas el salado y la aguada del municipio de Lebrija Santander, Colombia, tesis.colombia2014 http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1714/Gualdrón_Becerra_Nelsy_2014.pdf?sequence=1)
- (Yair Antonio Calle Maestre, Omar Johanny Archila Mendoza, John Mario Vargas Ruiz. Análisis de la tecnología apropiada para la disposición de aguas lluvias. caso de estudio parque industrial Santo Domingo del Municipio de Mosquera - Cundinamarca. tesis Colombia 2014 <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1735/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20REVISION%20COMPLETA%2020%20ENERO%202015.pdf>)

(Samir Alejandro Hernández, Fabio Andrés Macea. investigación para el desarrollo de sistemas urbanos de drenaje sostenible (suds) en la ciudad de Bogotá. Colombia.2014.
<http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1744/1/Investigaci%C3%B3n-desarrollo-SUDS-Bogot%C3%A1.pdf>)

Evaluación física - química del sistema de regulación de las aguas Termo-Minerales (Dársena II) del Municipio de Paipa - Boyacá

Leydi Xiomara Cárdenas Molano¹ - María Alejandra Supanteve Agudelo²

lxcardenas@uniboyaca.edu.co - masupanteve@uniboyaca.edu.co
Universidad de Boyacá - Ingeniería Ambiental -Semillero Sieh

9.1. Resumen

El sistema de regulación de las aguas termo - minerales (Dársena II) del municipio de Paipa Boyacá está causando alteración en la composición físico-química del río Chicamocha, afectando los recursos naturales que se encuentran a su paso y el sector socioeconómico. Este capítulo del libro pretende dar a conocer el problema ambiental que se está generando por la contaminación de las aguas termo - minerales utilizadas como uso recreativo en el sector turístico y hotelero de dicho municipio, esta contaminación se evalúa a partir de los índices de contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO, además de la evaluación de 21 parámetros, destacando los sulfatos y cloruros por su elevada concentración, por ello se pretende formular un nuevo índice de contaminación por mineralización donde se integren estas variables, y sean pertinentes en la caracterización de este tipo de recurso hídrico. La valoración de estos tiene como finalidad obtener respuesta a lo que está sucediendo en la entrada y salida de la Dársena II, proponiendo estrategias de gestión para mitigar o reducir la contaminación generada, siendo estas el aprovechamiento de sub-productos como el sulfato el cual es utilizado a nivel general en distintos procesos industriales y alimenticios.

Palabras clave: Dársena, Sistema de regulación, Agua Termo-Mineral, índices de contaminación.

ABSTRACT

The regulation system of thermo - mineral waters (Dársena II) of the municipality of Paipa Boyacá is causing alteration in the physical - chemical composition of the Chicamocha River, affecting the natural resources that are in its path and the socioeconomic sector. This chapter of the book aims to publicize the environmental problem that is being generated by the contamination of thermo-mineral waters used as recreational use in the tourism and hotel sector of said municipality, this contamination is evaluated from the ICOMI, ICOMO, ICOSUS and ICOTRO contamination indexes, in addition to the evaluation of 21

parameters, highlighting sulfates and chlorides for their high concentration, for this reason it is intended to formulate a new mineralization contamination Index where these variables are integrated, and are relevant in the characterization of this type of water resource. The purpose of evaluating these is to obtain a response to what is happening at the entrance and exit of Dársena II, proposing management strategies to mitigate or reduce the pollution generated, these being the use of by-products such as sulfate which is used at a general level in different industrial and food processes.

Keywords: Dársena, Regulation System, Thermo-mineral water, contamination indexes.

9.2. Introducción

Actualmente se reconoce la riqueza hídrica nacional, tanto en la distribución espacial como temporal, este enorme potencial se restringe en su aprovechamiento por la confluencia de múltiples factores antrópicos que han generado efectos en los componentes del ciclo hidrológico y, en especial, sobre la calidad del agua por la incorporación de residuos a las fuentes abastecedoras, también lo afectan en buena medida los patrones de aprovechamiento, caracterizados por mecanismos de uso poco eficientes del recurso (Cardona, 2003), entre estos se encuentra el uso asociado al desarrollo turístico, siendo el factor que más influye en la zona de estudio, el Municipio de Paipa pertenece a la provincia del Tundama del departamento de Boyacá, este se destaca por sus actividades turísticas y recreativas, las cuales aportan aguas termales (termo-minerales y afines), luego de su aprovechamiento con fines recreativos a la dársena y son vertidas sin tratamiento previo al sistema de regulación, que se caracteriza por su condición lentic que implica aguas en reposo y acumuladas, lo que facilita la precipitación de sólidos, variando la penetración de luz, propiciando así una mayor actividad biológica en general dentro del sistema, por ende, es de vital importancia evaluar las características fisicoquímicas que se presentan en el afluente y efluente, con las alteraciones que implican debido principalmente a la recepción de afloramientos de las aguas termales localizadas en algunos sectores del municipio.

La dársena II tiene influencia directa con el río Chicamocha y contribuye con la contaminación del mismo, además de realizar una evaluación general del sistema se pretende plantear estrategias de gestión y “las políticas de manejo que contemplen una adecuada sincronización entre los afluentes y efluentes del sistema” (Universidad de Boyacá, 2016). Además, es conveniente realizar un análisis que indique el estado y/o comportamiento del recurso presente en el sistema de regulación de aguas termo minerales, con el fin de identificar el posible grado de contaminación que presenta mediante los índices de contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO, y la formulación de un nuevo ICOMI integrando los parámetros más significativos (Cloruros, Sulfatos), de esta manera se tendrá una valoración adecuada y pertinente para la toma de decisiones en las posibles estrategias de gestión del recurso hídrico.

9.3. Metodología Resultados y Discusión de Resultados

El desarrollo de esta investigación parte de un enfoque de tipo cuantitativo con un alcance descriptivo y exploratorio de los parámetros fisicoquímicos del sistema de regulación de las aguas termo-minerales (dársena II). Para el desarrollo de la campaña de muestreo se tomaron dos puntos de muestreo representativos, en la entrada del sistema de regulación de aguas termo minerales y en la salida del mismo, los cuales fueron debidamente georreferenciados. Este muestreo se realizó en dos épocas del año siendo estas en época de alta y baja pluviosidad.

Se realizó un muestreo simple, las muestras fueron extraídas manualmente cumpliendo con los protocolos establecidos en el Standard Methods (Anexo 1, Tabla 3).

9.4. Resultados y Discusión de Resultados

Tabla 1 Resultados Obtenidos en las dos campañas de muestreo

PARAMETRO	CAMPAÑA MUESTREO 1		CAMPAÑA MUESTREO 2	
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 1	PUNTO 2
Oxígeno Disuelto (mg/L)	1	0.8	1.03	0.36
pH	7.86	8.92	8.46	8.66
Temperatura	26 °C	19 °C	16.5	15.4
Color Real (Uptco)	102	116	105	282
Color Aparente (Uptco)	144.5	117.5	185	765
Turbiedad (NTU)	17.36	5.51	9.23	114
Nitratos(mg/L)	0.06	0.04	2.35	19.95
Nitritos(mg/L)	0.075	0.039	0.003	0.022
Conductividad(µs/cm)	41.5	41.45	41.0	43.5
DBO (mg/L)	15	240	21	342
DQO (mg/L)	230.66	233.66	391.333	665.333
Coliformes Fecales NMP/100	11x10 ⁴	<1.8	<1.8	4.0x10 ²
Coliformes Totales NMP/100	11x10 ⁴	<1.8	<1.8	<1.8
Cloruros g/l	500.845	498,775	887,5	952,583
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	74.4	50	1668	1926
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	313	183	9.6	14.4
Sólidos Totales (mg/L)	42770	46692.5	53100	48500
Sólidos Suspendidos Totales(mg/L)	574.8	542.6	48.54	204.6
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	42195.2	46149.9	53051.4	48295.4
Fosfatos(mg/L)	3.68	3.09	0.74	2.29
Sulfatos(mg/L)	1641.865	985.299	5242.154	5242.154

Fuente: Autores

Tabla 2 Evaluación de índices de contaminación

Índices	Formula	Valor			
		Muestreo 1		Muestreo 2	
		PTO 1	PTO 2	PTO 1	PTO 2
ICOMI	$\frac{1}{3}(I. Conductividad + I. Dureza + I. Alcalinidad)$	0.675	0.448	0.4858	0.4451
ICOSUS	$(-0.02 + 0.003 * Sólidos Suspendidos (\frac{g}{m^3}))$	0.125	0.593	1	1
ICOTRO	<i>Oligotrofico</i> $< 0.01 (\frac{g}{m^3})$ <i>Mesotrofico</i> $0.01 - 0.02 (\frac{g}{m^3})$ <i>Eutrofico</i> $0.02 - 1 (\frac{g}{m^3})$ <i>Hipereutrofico</i> $> 1 (\frac{g}{m^3})$	Hipereutrofico	Hipereutrofico	Eutrófico	Hipereutrofico
ICOMO	$\frac{1}{3}(I. DBO + I. Coliformes Totales + I. Oxígeno)$	0.9239	0.6663	0.6246	0.6665

Fuente: Autores

Se tomó en cuenta variables climatológicas y la pluviosidad del área de estudio. Los puntos tanto de entrada al sistema como de salida al Canal Vargas presentan un cambio en los valores obtenidos de algunos parámetros debidos en gran medida por dilución. Otro factor que interviene es la dinámica correspondiente a la dársena II en relación con el complejo Sochagota, en el que se conecta con la dársena I, que a su vez se relaciona de forma directa e indirecta con la Quebrada Honda, conectada con el canal de alivio y el canal llamado la Casona, como un sistema de regulación hídrica completo hacia el río Chicamocha por medio del Canal Vargas.

Las aguas termo-minerales se caracterizan por sus elevadas temperaturas, minerales y una clasificación por su composición geoquímica, “las aguas con menos de 200 mg/l de sólidos disueltos son consideradas como Oligominerales, las que tienen de 200 a 1000 mg/l son medio minerales y las aguas minerales, son las que contienen más de 1000 mg/L de sólidos disueltos” (Universidad de Boyacá, 2016), la dársena II se clasifica dentro de la última categoría mencionada.

En relación con los *Coliformes totales y fecales*, se observa un decaimiento por diferentes factores físico-químicos presentes en la zona tales como: la temperatura, la radiación solar, el pH y oxígeno disuelto (OD) que impiden de una u otra manera el crecimiento y la supervivencia en el sistema hidrodinámico, considerando que los parámetros intervienen directamente en los microorganismos (Anexo 2). Los Coliformes totales y fecales se calcularon en un límite de 95% de Confianza, establecido según la tabla NMP con un rango Mínimo: 0 y Máximo: 6.8 y Mínimo: 0.71 y Máximo: 12, respectivamente. Es notoria la presencia de Coliformes totales y fecales en el punto de entrada a la dársena II en la época de baja pluviosidad, relacionándose con la cantidad de

sedimentos que provienen de la dársena I, ya que “el transporte de sedimentos en suspensión en las simulaciones es de crucial importancia debido a que las concentraciones de Coliformes fecales se ven significativamente influenciadas por la concentración de sedimentos suspendidos en el sistema” (Chen & Wen-Cheng, 2017), lo cual se evidencia en el alto contenido de Sólidos Totales, Suspendidos totales y disueltos totales (Anexo 8). La influencia de las condiciones de precipitación se incluye como un factor potencial en la presencia de Coliformes, sin embargo, en la época de alta pluviosidad no se evidencio crecimiento de Coliformes. “Los eventos de lluvia presentan una tendencia a dar como resultado un aumento significativo de Coliformes fecales durante y en comparación a niveles más bajos, por lo que la cantidad total de lluvia se relaciona positivamente con la proporción de muestras con Coliformes” (Leight & Hood, 2018).

Las concentraciones de **oxígeno** en el sistema presentan una disminución en el punto de salida debido al consumo de oxígeno por parte de los microorganismos existentes en el interior del sistema, si es consumido más oxígeno que el disponible en el sistema, el O_2 caerá, pudiendo alcanzar niveles por debajo de los necesarios para la vida de muchos organismos. “El sistema en si es considerado como Hipóxico, ya que está en unos niveles entre 0-5 mg/l, la consecuencia dentro de este es la disminución de organismos y especies sensibles, llevándolos a una desaparición” (Goyenola, G, 2007, pág. 1). La concentración de (OD) refleja el equilibrio entre procesos productores y de consumo de oxígeno que depende de muchos factores como temperatura, salinidad, agotamiento de oxígeno, fuentes de oxígeno y otros parámetros de calidad del agua (Masrur, 2017). Lo cual se ve relacionado con la **demanda química de oxígeno** (DQO) y la biológica (DBO), reflejando una **demanda biológica** casi similar en el punto de entrada al sistema en las 2 campañas de muestreo (Anexo 4), y con un incremento considerable de la misma en la salida del sistema por las condiciones de regulación en este y la interacción de los microorganismos, sin embargo, existen altas concentraciones de (DBO) en el interior de la dársena, que indica la descarga continua de materia orgánica implicando la existencia de microorganismos descomponedores de los desechos orgánicos, se esperaría que por ende hubiera una demanda de oxígeno elevada al igual que la (DBO). Por otro lado se pone en consideración la (DQO) y su constante concentración en el punto de entrada y salida en la campaña 1, mientras que en la temporada de alta pluviosidad las concentraciones aumentaron significativamente, aumentando la demanda al final del sistema, considerando así la capacidad de Biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas presentes o no en el sistema; ya que cuando se presenta un aumento de la DQO se contribuye a la disminución de la capacidad de depuración de las fuentes hídricas, disminución del oxígeno disuelto, salinización de los suelos, y pérdida de la biodiversidad acuática, afectando así la calidad del uso.

Se relaciona la conductividad con los sulfatos (Anexo 5), por ser una medida de sales totales, “la salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua. La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas, sin embargo, se diferencia en relación a la temperatura, ya que cuando la temperatura aumenta, la conductividad aumenta también, pero la salinidad es la cantidad de sal presente en el agua, por lo tanto, no depende de la temperatura” así como se menciona en el estudio del State Water Resources Control Board.

La concentración de **sulfatos** fue elevada obteniendo mayor concentración en el punto de entrada en la campaña 1 de muestreo, por el contrario en la época de alta pluviosidad la concentración de estos aumenta considerablemente en el punto de entrada y de descarga como vertimiento al canal de Vargas, manteniendo un valor constante, por ende no existe una regulación en el sistema respecto a este parámetro, lo que implica una afectación en las condiciones de calidad del recurso hídrico al llegar al río Chicamocha, en relación con el uso frecuente de este para actividades agrícolas y pecuarias, que puede alterar el grado de salinidad en el suelo, ya que “La salinidad del agua de riego determina la salinidad de los suelos” (Torres & Acevedo, 2008).

Las aguas termo minerales también tienen cierto contenido de materia orgánica e inorgánica la cual puede reaccionar con los aniones de nitrógeno representados en nitritos y nitratos, estos pueden reaccionar con la materia y formar sales y otros compuestos, los aniones de nitrógeno se encuentran en el suelo, en aguas superficiales y subterráneas, la formación de nitritos y nitratos se debe a la descomposición natural de proteínas, de plantas o animales realizada por la acción de microorganismos como las bacterias nitrificantes así como lo menciona la Agencia de Protección de la Salud y Seguridad Alimentaria, con la representación gráfica (Anexo 6) se puede observar la reducción de estos aniones en la salida del sistema de regulación, influenciada por la cantidad de materia de tipo orgánico e inorgánico, es decir las bacterias nitrificantes necesitan de un sustrato siendo este la materia contenida en el agua en cantidades bajas, las cuales no alcanzan como sustrato de las bacterias nitrificantes generando muerte celular de las mismas y disminuyendo la formación de Aniones de nitrógeno y con ello proporcionado una reducción de la cantidad de nitritos y nitratos en la salida de la dársena; en la campaña 2 el aumento de nitratos se puede inferir a la cantidad de materia orgánica presente en la dársena, producto de la ausencia de un flujo constante del agua termo mineral y al quedar en estado lenticó se generaron reacciones que no oxidaron la materia orgánica y por el contrario se presentó una reducción de esta.

Los **fosfatos** provienen posiblemente de la actividad recreativa (Piscinas) que utilizan detergentes que son incorporados al sistema como fosfatos y por ello su valor en la entrada del sistema es mayor que en la salida en la primera campaña y disminuye probablemente por el tiempo de retención de este sistema lenticó, es importante mencionar que “el ion fosfato suele operar como un nutriente del crecimiento de algas afectando de esta manera la cantidad de Oxígeno presente en el agua y por ende el crecimiento de materia orgánica viva que más adelante podría generar eutrofización” (Bolaños, 2017), sin embargo la cantidad de fosfatos en la salida de la dársena es menor a la cantidad que entra al mismo. En la campaña 2 el fósforo aumenta en la salida del sistema, esto se debe probablemente a la disminución del volumen de agua y al ser un sistema lenticó puede causar eutrofización por el aumento de este parámetro.

La **dureza** del agua en la dársena en la primera campaña de muestreo, se clasifica como un agua muy dura con respecto al punto de entrada debido a su significativa concentración de CaCO_3 , ya que su concentración de sales alcalinas supera los 300 mg de CaCO_3/l . “Esta característica las hace aguas con baja

solubilidad de compuestos metálicos, gracias a las altas concentraciones alcalinas en ella” (Rojas, Fortich, & Pavajeau, 2014). Sin embargo, el punto de vertimiento de salida se considera con una concentración mucho menor de dureza, clasificando el efluente como un agua dura, por lo que se observa que en el sistema hay una reducción de minerales y de compuestos, en particular sales de magnesio y calcio. En comparación con la campaña 2 de monitoreo se tienen durezas bajas siendo menor en la entrada del sistema que en la salida del mismo, en relación estas dos campañas muestran resultados inversamente proporcionales (Anexo 9). Por otro lado los valores arrojados de **alcalinidad** durante la campaña 1 en la entrada del sistema es mayor con respecto al punto de salida, esto se da posiblemente porque la cantidad de minerales contenidos en el agua termo mineral afecta las condiciones alcalinas con las cuales entro el agua al sistema, este factor también puede estar influenciado por el tiempo de permanencia del agua en ese sistema ya que es un tipo de almacenamiento temporal de las aguas derivadas del uso recreativo (Piscinas) y al llegar al sistema con ciertas condiciones y en contacto con los demás componentes químicos que presenta este tipo de aguas, con esto la alcalinidad probablemente redujo su concentración. En cuanto a la campaña 2 se presentó una variación significativa pues los valores de alcalinidad con respecto a la primera aumentaron, en especial en la salida del sistema de regulación, estos valores muestran una relación inversamente proporcional en las dos campañas, esto se da posiblemente porque al estar en condiciones climáticas de invierno se presenta mayor disolución de sales de carbonato CO_3^{2-} y HCO_3^- .

Los **cloruros** en las dos campañas de monitoreo tienen una relación inversa, ya que en el primer muestreo disminuye en el punto de salida del sistema, en comparación con la campaña 2 la concentración de cloruros es mayor en la salida del sistema que en la entrada y en comparación de las dos campañas se muestra que en época de alta pluviosidad el valor de cloruros es mayor que en época de baja pluviosidad (Anexo 10). “El ion cloruro es uno de los iones más difundidos en las aguas y es un indicador de contaminación de estas debido a la acción del hombre” (Romero, s.f.), y “como es bien sabido que las excretas humanas y en general las de todos los organismos superiores la orina principalmente posee una concentración de cloruros” (Guarín, 2011), generando de esta manera salinidad en estas aguas, además la concentración de sales en este tipo de agua es una característica propia de estas y según los resultados obtenidos en época de invierno este parámetro tiende a aumentar significativamente.

En relación con la **conductividad** del sistema se puede ver que la variación durante las dos campañas no es significativa, es decir que durante el proceso no se presentan grandes cambios de pH y el tiempo de disolución no afecta este parámetro. La alta salinidad está ligada a altas concentraciones de **cloruros**, **sulfatos**, así como excesiva **dureza** por la presencia de calcio y magnesio en altas concentraciones. También a mayor salinidad, mayor es la probabilidad de presencia de contaminantes (flúor, arsénico, metales pesados...) (Villa, 2011).

Con el objeto de determinar la contaminación presente en el sistema de regulación dársena II, se evaluaron cuatro índices de contaminación (**ICO**) que se evalúan entre un rango de 0 - 1, estos índices integran numerosas variables fisicoquímicas; **ICOMI** índice de contaminación por mineralización, que integra

conductividad, dureza y alcalinidad; **ICOMO** o índice de contaminación por materia orgánica, conformado por demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), Coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno; **ICOSUS** índice de contaminación por sólidos suspendidos e **ICOTRO** o índice de contaminación trófica, el cual se calcula con base en la concentración de fósforo total (Ramírez A, Restrepo R & Cardeñosa M, 1997), Por ende, se realiza una comparación de estos índices en las diferentes épocas de muestreo en la dársena II (Anexo 11).

El **ICOMI** es considerable en todo el sistema obteniendo un alto grado de mineralización en los puntos muestreados, esto en relación a las tres variables de medición de este índice como lo son: “**Conductividad** como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, **dureza** por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y **alcalinidad** porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos”. (Ramírez A, Restrepo R, & Viña G, 1997).

El **ICOMO** representa un elevado rango de contaminación especialmente en el afluente en la época de alta pluviosidad, donde se presentaban características totalmente diferentes al estado normal de la dársena respecto a su capacidad de recepción, esto teniendo en cuenta la relación de los índices individuales de los parámetros relacionados; “**Demanda bioquímica de oxígeno** (DBO_5), **coliformes totales** y **porcentaje de saturación del oxígeno**, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica” (Ramírez A, Restrepo R, & Viña G, 1997).

Respecto al **ICOSUS** se presenta un índice de contaminación (**1**) en el efluente y afluente de la dársena en la época de alta pluviosidad, lo que representa el rango máximo de contaminación por **sólidos suspendidos**, en comparación con la época de baja pluviosidad donde se refleja un índice de (**0.125**) en el punto de entrada y (**0.593**) en el punto de salida los cuales no son tan representativos, esto influye en las épocas de muestreo y en la cantidad del recurso hídrico que se presentó en las campañas de muestreo.

El índice de contaminación trófica **ICOTRO** a diferencia de los demás, se calcula sobre la base de la concentración de fósforo total en mg / L ; el fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en **ortofosfatos** que son los que se determinan por análisis químico, entre esos están (Oligotrofia < 0.01 , Mesotrofia $0.01 - 0.02$, Eutrofia $0.02 - 1.00$, Hipertrofia > 1.00). (Cañas, 2014). Por ende como se observa en la (Tabla 2) la dársena II es un sistema Hipereutrofico, debido al aporte de detergentes y el vertido directo de materia orgánica proveniente del sector turístico y hotelero a la dársena I, acelerando el proceso en la dársena II.

9.5. Resultados y Discusión de Resultados

El sistema de regulación de aguas termo minerales (dársena II) presenta una degradación de la mayoría de los parámetros evaluados, ya que disminuye su concentración en el efluente, favoreciendo la depuración al ser vertidos al canal Vargas siendo esto una forma de mitigar la contaminación que más adelante tendrá como finalidad el cauce el río Chicamocha.

En el sistema de regulación se presenta un decaimiento sobre la mayoría de los parámetros entre ellos los coliformes totales y fecales, por causa de los factores ambientales presentes en la dársena y por las condiciones necesarias que estos microorganismos requieren para su supervivencia y que por cuestiones de degradación y consumo de nutrientes disminuyen en el efluente.

Las condiciones necesarias para que el sistema regule adecuadamente están basadas en la constante dilución de las concentraciones de los parámetros medidos, respecto a la dársena I en relación con los canales y piscinas termales que vierten sus aguas a esta, por lo que un control de estas variables en la dársena I, contribuirá a mejorar la regulación en la dársena II, para que así la carga contaminante sea menor en el canal Vargas y por ende en el río Chicamocha



9.6. Anexos

9.6.1. Anexo 1 Metodología del proyecto



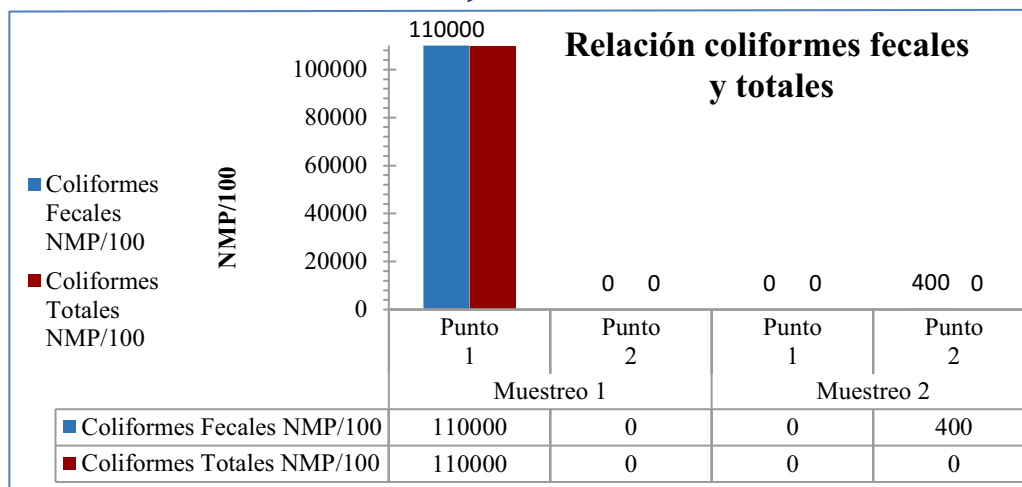
Fuente: Autores

Tabla 3 Puntos de muestreo

PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS	ALTURA (MSNM)	IMAGEN
Punto 1 (Entrada dársena II)	N 0.8° 45.3' 9.3' W 0.73° 06' 25.0'	2520	
Punto 2 (Salida dársena II)	N 0.5° 45' 46.1' W 0.73° 06' 19.9'	2518	

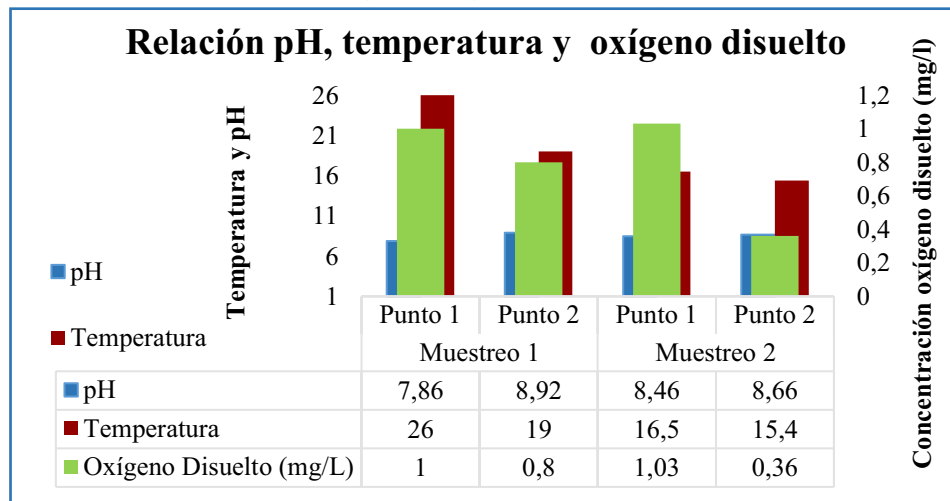
Fuente: Autores

9.6.2. Anexo 2 Coliformes fecales y totales



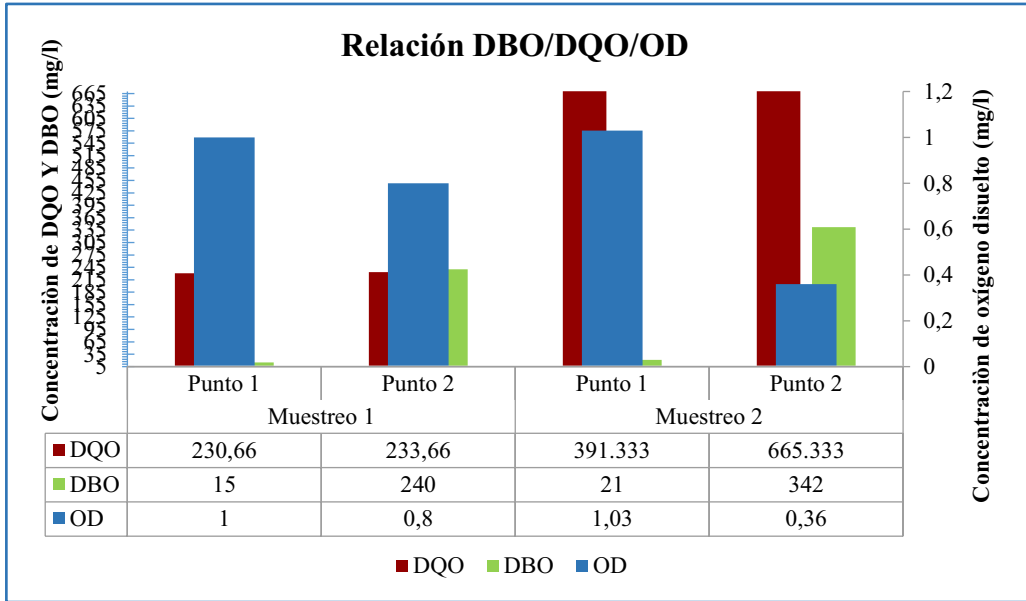
Fuente: Autores

9.6.3. Anexo 3 Relación del pH, temperatura y oxígeno disuelto



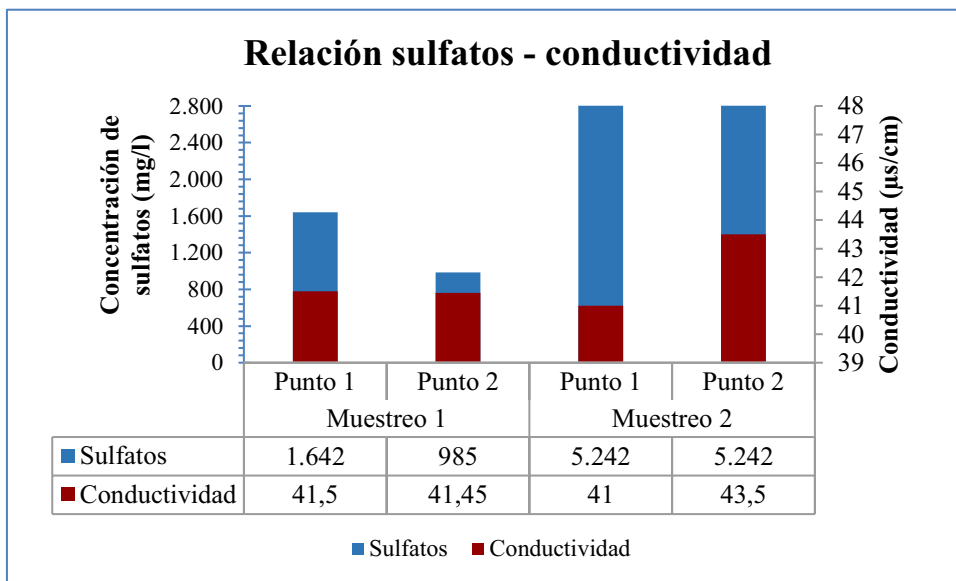
Fuente: Autores

9.6.4. Anexo 4 Relación demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto



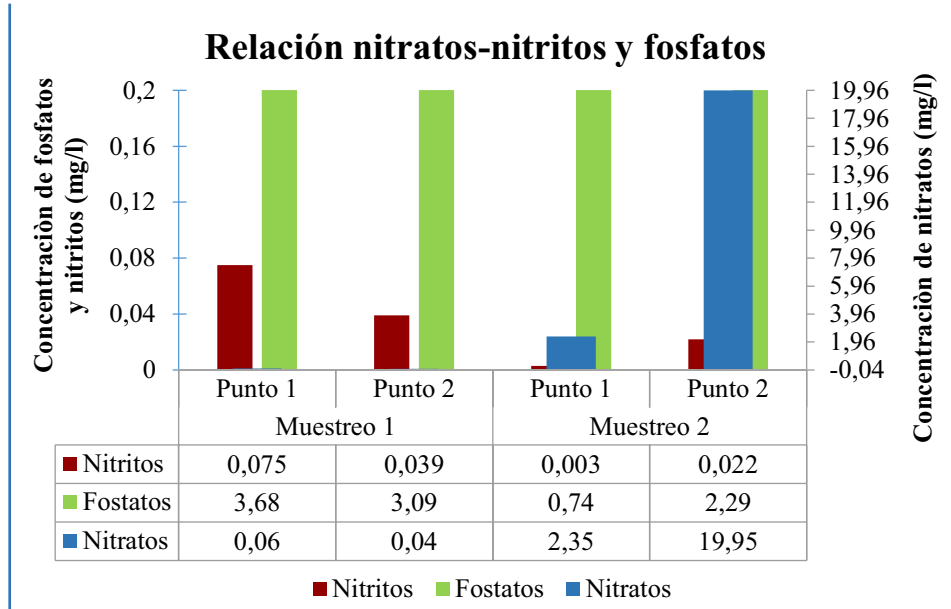
Fuente: Autores

9.6.5. Anexo 5 Relación Sulfatos y Conductividad



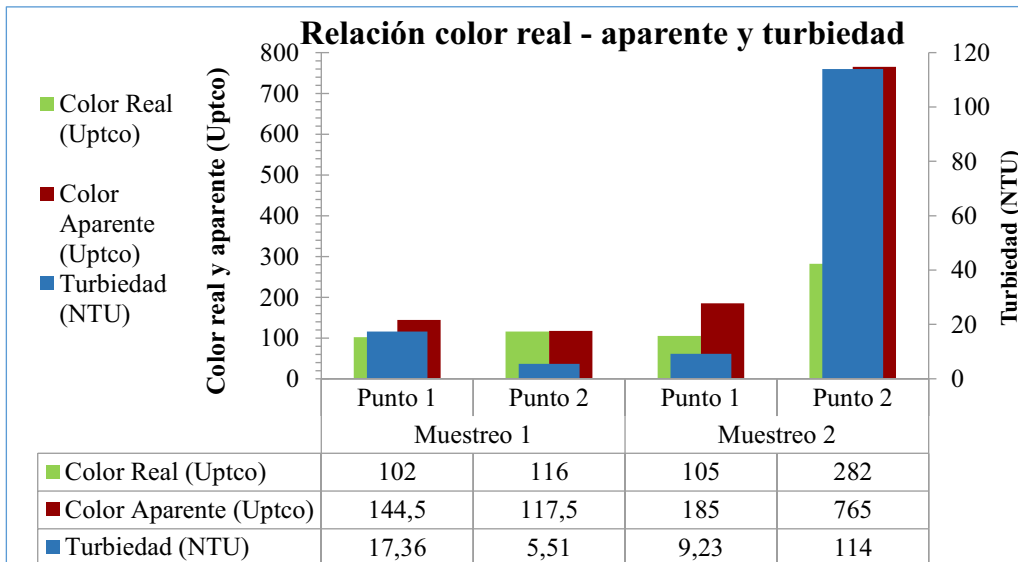
Fuente: Autores

9.6.6. Anexo 6 Relación Nitratos, Nitritos y Fosfatos



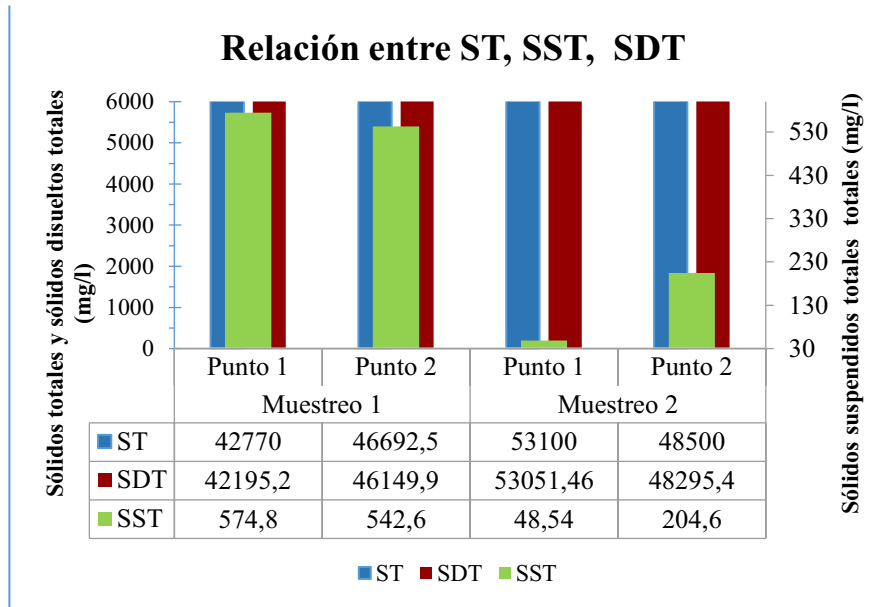
Fuente: Autores

9.6.7. Anexo 7 Relación Color real - Aparente y Turbiedad



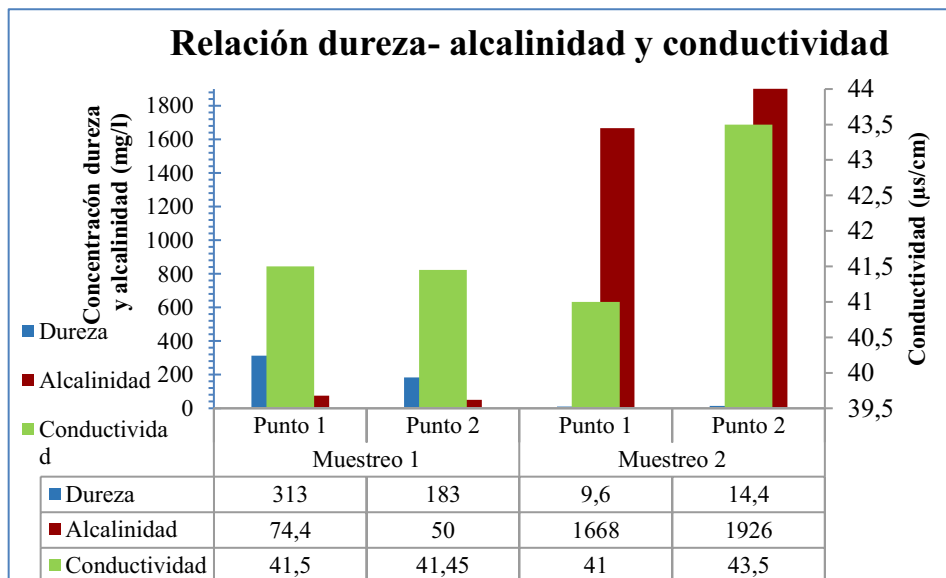
Fuente: Autores

9.6.8. Anexo 8 Relación Sólidos Totales - Suspendidos Totales y Disueltos Totales.



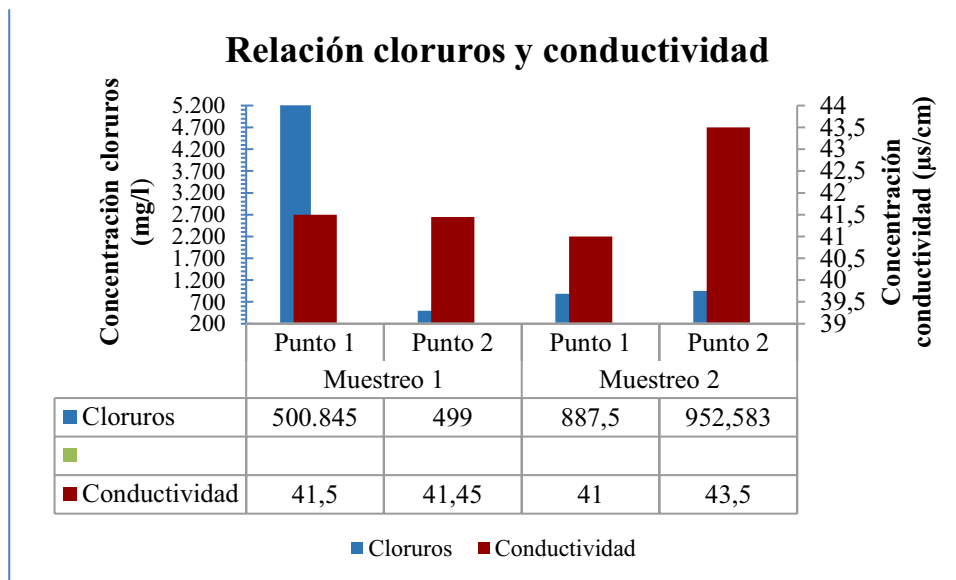
Fuente: Autores

9.6.9. Anexo 9 Relación Dureza, Alcalinidad y Conductividad



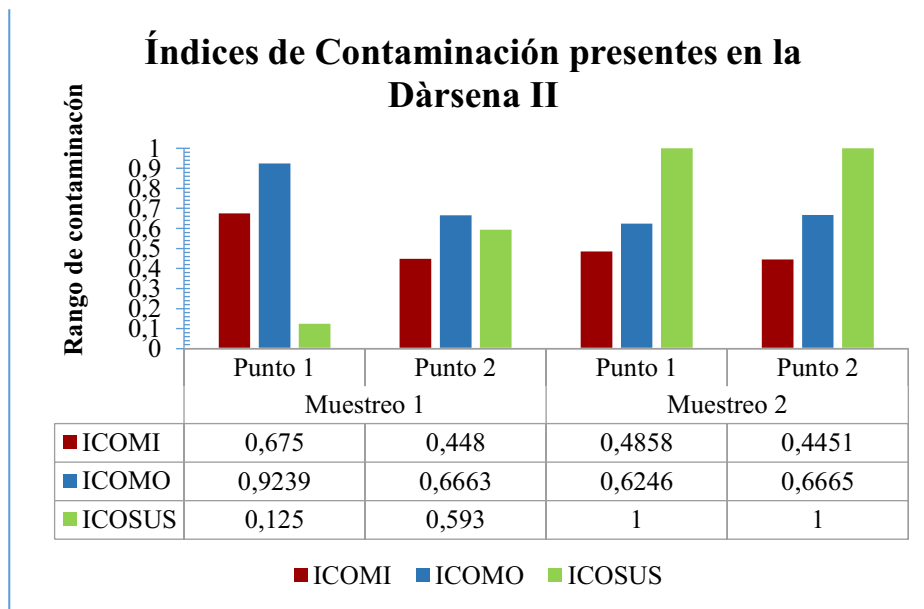
Fuente: Autores

9.6.10. Anexo 10 Relación de cloruros y conductividad



Fuente: Autores

9.6.11. Anexo 11 Relación acerca de los Índices de Contaminación



Fuente: Autores

9.7. Referencias Bibliográficas

- Bolaños, J. D. (8 de 5 de 2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de alajuela (Costa Rica). Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf> - DOI: 10.18845/tm.v30i4.3408
- Cañas, J. S. (2014). Determinación y evaluación de índices de contaminación en cuerpos de agua. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/10901>
- Cardona, H. (2003). EL REGIMEN JURÍDICO DE LAS AGUAS EN COLOMBIA. Obtenido de http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Legislacion_tematica/CardonaAlvaroHernando_regimen_juridico_agua_Colombia_mayo2003.html
- Chen, W.-B., & Wen-Cheng, L. (2017). Investigating the fate and transport of fecal coliform contamination in a tidal estuarine system using a three-dimensional model. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.031>
- Goyenola, G. (2007). Oxígeno Disuelto. Obtenido de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf
- Guarín, L.J. (2011). Estandarización de las Técnicas de Fosfatos Y Cloruros En Aguas.
- Leight, A., & Hood, R. (2018). Precipitation thresholds for fecal bacterial indicators in the Chesapeake Bay. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.004>
- Masrur, A. (2017). Prediction of dissolved oxygen in Surma River by biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand using the artificial neural networks (ANNs). Obtenido de Journal of King Saud University - Engineering Sciences: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2014.05.001>
- Ramirez A, Restrepo R & Cardeñosa M. (1997). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. formulaciones. Obtenido de de C.T.F Cienc. Tecnol. Futuro vol.1 no.5 : http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008
- Ramirez A, Restrepo R, & Viña G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. Obtenido de C.T.F Cienc. Tecnol. Futuro vol.1 no.3: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009
- Rojas, E., Fortich, M., & Pavajeau, H. (2014). Determinación del origen y la composición de las aguas termales ubicadas en los municipios de Becerril (Cesar) y Ciénaga. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/308231450_Determinacion_del_origen_y_la_composicion_de_las_aguas_thermales_ubicadas_en_los_municipios_de_Becerril_Cesar_y_Cienaga_Magdalena_Colombia - DOI:10.21774/ing.v8i21.441

- Romero, F. M. (s.f.). Aguas Corrientes y minerales naturales por el metodo de Mohr. Obtenido de <http://www.escritoscientificos.es/trab21a40/clorurosaguas/00cloruros.htm>
- Torres, m., & Acevedo, E. (2008). EL PROBLEMA DE SALINIDAD EN LOS RECURSOS SUELO Y AGUA QUE AFECTAN EL RIEGO Y CULTIVOS EN LOS VALLES DE LLUTA Y AZAPA EN EL NORTE DE CHILE. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292008000300004>
- Universidad de Boyacá. (2016). MODELO INTEGRADO DE GESTIÓN DEL LAGO SOCHAGOTA Y LAS AGUAS TERMALES DEL MUNICIPIO DE PAIPA, EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL DISTRITO DE RIEGO DE USOCHICAMOCHA.
- Villa, E. (2011). DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD DEL AGUA. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/131824490/Informe-3-Salinidad-de-Una-Agua>

Análisis Comparativo de Indicadores en la Distribución Urbana de Mercancías Bajo Dimensiones de Sostenibilidad. Caso de Estudio en (3) Ciudades Principales de Colombia.

Leila N. Ramírez¹, Jhon S. Guatavita², Javier D. Ubaque³

laylan.ramirez@unilibre.edu.co; jhons-guatavitac@unilibre.edu.co; javierd-ubaque@unilibre.edu.co
Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Libre. Bogotá - Colombia.

Resumen

En el presente capítulo del libro se pretende validar y aplicar una metodología que establece el estado actual de la Logística Urbana (LU) bajo diferentes medidas *i) tecnológicas, ii) restricciones de acceso, iii) organizativas y legislativas, iv) manejo territorial e v) infraestructura*, a partir de las definiciones de las medidas se logra conocer las condiciones actuales de la operación de la distribución Urbana. A partir de este diagnóstico inicial se proponen las estrategias de solución que minimizan los impactos negativos (ruido, congestión y emisiones) que a su vez maximicen la eficiencia de los costos logísticos. Por otro lado, la metodología propuesta cuantifica los indicadores seleccionados a partir del caso de estudio en Distribución Urbana de Mercancía (DUM) en Bogotá- Región, Cali y Medellín. Esta metodología permite llevar al indicador a una escala [-1, 0,1]. La metodología reconoce que, si el indicador ha cumplido el propósito toma el valor de 0 y si no, toma valores contrarios a cero. Entre otros aspectos, se busca centralizar los valores a cero, su máxima distancia obtenida a partir de cero se interpreta como una brecha, aún no reducida. Es indispensable plantear una intervención en la DUM, lideradas por las entidades públicas y privadas en la ciudad de Bogotá, lo cual permite una ciudad articulada y activa enfocada en minimizar el impacto negativo en la capital del país y obtener un modelo sostenible de LU, apoyándose en las mejores prácticas y métodos que se encontraron en las ciudades de objeto de estudio.

10.1. Introducción

El Desarrollo logístico es componente importante en el desarrollo económico de cada país, fundamentalmente representa una proporción significativa del producto interno bruto (PIB), es así, que Colombia, es uno de los países más costosos en distribución de mercancías, en materia de operación se estima que el 15% está destinado a cubrir estos costos, ubicándose cerca de la media de los países latinoamericanos. A partir de esto, el análisis comparativo realizado cuestiona, propone y recomienda alternativas de solución, De hecho, la necesidad actual del país sostiene que el desarrollo de las tres ciudades que destacan su participación en el PIB a nivel nacional se debe evaluar para tomar medidas de acción y optimización. (Bogotá y su periferia participación en el PIB nacional del 29%, Antioquia el 19% y Valle del Cauca 13%) [1].

que el desarrollo de las tres ciudades que destacan su participación en el PIB a nivel nacional se debe evaluar para tomar medidas de acción y optimización. (Bogotá y su periferia participación en el PIB nacional del 29%, Antioquia el 19% y Valle del Cauca 13%) [1].

En las diferentes técnicas que desarrolla la logística; es indispensable que exista una cooperación entre los diferentes organismos del sector público y privado, en lugar de tomar decisiones individuales, debe existir una contribución para la mejora de factores de preparación tecnológica, innovación, sofisticación, mejora de la calidad de vías, infraestructura férrea, Aeroportuaria y portuaria, es por esto, que al formular el análisis comparativo se busca afirmar la importancia de la coordinación en las decisiones, y disminuir la brecha de deficiencia de procesos, consecuentemente se debe lograr una ciudad interconectada y concéntrica, con sistemas multimodal en distribución.

Cabe considerar, que algunos de los posibles desarrollos propuestos son complejos de ejecutar y sus costos son elevados, el no contar con un equipo académico especialista y capaz de efectuar estos desarrollos, trae como resultado fallas en la implementación y falta de alineación con el objetivo logístico. La (Tabla 1) presenta un resumen de algunas medidas, con ejemplos, organizadas de acuerdo con el nivel de facilidad en su ejecución.

Tabla 1 Medidas tomadas para solucionar problemas de logística urbana [3]

Tipo	Ejemplos
Medidas organizacionales y legislativas	Sistemas logísticos cooperativos, fomento de entregas nocturnas, asociaciones público-privadas, Zonas de depósitos colaborativos
Restricciones de acceso	Restricciones de acuerdo a la característica de los vehículos (peso, volumen, número de ejes), restricciones a zonas peatonales, peajes, restricciones de movilidad periódicas
Medidas de manejo territorial	Creación de zonas de carga y descarga, de transferencia, plataformas logísticas de pequeña envergadura.
Medidas tecnológicas	GPS, sistemas de seguimiento, software de planificación de rutas, sistemas inteligentes de transporte, adopción de vehículos no contaminantes, vehículos adaptados a las características urbanas (tamaño y propulsión)
Medidas de infraestructura	Construcción de centros urbanos de distribución, de instalaciones para almacenamiento periférico, uso de infraestructura vial pública para carga carrileras, troncales públicas (BRT), uso de zonas subterráneas de carga.

Precisar las normas, reglas y prohibiciones que regulan el sistema, define el campo de acción de cada una de las medidas mencionadas anteriormente, dadas las condiciones de regulación para el bienestar de la comunidad y apoyo por parte de las entidades público y privadas, es posible establecer horarios de carga, descarga y transporte. Teniendo en cuenta lo establecido por las autoridades regionales, se debe regularizar con mayor firmeza zonas metropolitanas y urbanas, Atendiendo estas consideraciones, se debe disminuir el impacto que genera la emanación de gases nocivos para la salud, los altos niveles de tráfico que ocasionan las operaciones logísticas. La tendencia de las empresas estará encaminada en la búsqueda de medios sostenibles para ejecutar estas operaciones, disminuyendo índices de contaminación, siendo esto positivo para el medio ambiente y consecuentemente el estado de salud humana. El daño que causan los diferentes camiones de alta capacidad, los cuales producen vibración terrestre sobre la infraestructura de la urbanización, se maximiza por la ineficiencia de carreteras especializadas para este tipo de transporte y falta de un sistema multimodal, al respecto, es necesario, conforme se avanza en el desarrollo de la economía, la implementación de medios de transporte urbana con capacidad alta y tecnológicamente sostenibles sean incorporados de manera progresiva, impactando así el desarrollo tecnológico en Colombia, sin embargo lo anterior o se podría lograr sin aumento en la inversión la cual va a disminuir la brecha que impacta directamente las corporaciones en costos logístico.

Según el ICTC. Ponderación e índices total nacional, entre el 2009 - 2017, el indicador nacional de costos de transporte de carga por carrera se conforma de 40.2% en combustibles, 9,7% en insumos, 45,1% costos fijos y peajes y el 4,8% Partes, piezas, servicios de reparación y mantenimiento, refiriéndose únicamente al transporte de mercancías terrestres [4].

Las anteriores cifras nos afirman la importancia que tiene enfocar esfuerzos para optimizar el sistema y buscar su máxima eficiencia tomando como referente las medidas, pues su implementación mejorara los índices críticos.

En el último año (2018) de acuerdo con Unidad de Planeación Minero - Energética - UPME solo en GASOLINA MOTOR en materia de transporte se consumieron 117.764 Barriles días calendario, 96.184 DIESEL (ACPM) y 59 Millones de pies cúbicos día Gas Natural Vehicular siendo evidente un alto consumo de derivados de petróleo que no contribuyen con el medio ambiente, este factor debe ser afectado por alternativas en donde la reducción de agentes contaminantes sea exponencial [5]. Dentro de este marco, el uso de energías renovables y la aplicación de métodos como el reciclaje e ingeniería inversa deben ser implementadas en las grandes industrias acompañados de las entidades gubernamentales para lograr el fin deseado y disminuir la dependencia de combustibles cada vez más limitados y costoso para el sector, este esfuerzo debe darse sustancialmente a corto plazo debido al incremento de los costos, daño al ambiente y regularización restrictivas dadas por los entes gubernamentales.

El transporte terrestre es un medio trascendental utilizado en distribución de mercancías, en el 2017 se pudo determinar que el 69% del transporte fue realizado vía terrestre, el 14% aéreo y 17% marítimo, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. Las afirmaciones anteriores y cifras sugieren que los gobiernos junto con la industria deben sumar esfuerzos para lograr un sistema multimodal en virtud de la escases de opciones que tiene actualmente las diferentes empresas para sistematizar el transporte de mercancías, es así que la inversión en medio fluviales y aéreos deben descartarse, Atendiendo estas consideraciones la construcción de nuevos puertos, adecuación y ampliación de aeropuertos deben ser tenidas en cuenta. A pesar de los esfuerzos realizados entre la Oficina Asesora de Planeación - Ministerio de Transporte, en materia de vías se invirtió \$3.043.274 Millones de pesos, en transporte fluvial \$10.663 Millones de pesos, \$321.373 en aeropuertos se hace necesario resaltar que los esfuerzos realizados en el año en mención 2017 son destacados, pero no suficientes, el déficit sigue afectando la industria y el Producto interno colombiano [6].

Selección y análisis de indicadores para cada categoría:

10.1.1. Medidas organizacionales y legislativas

Analizando los contenidos tanto positivos como negativos, se presentan indicadores orientados a lograr un modelo de ciudad deseado. Se presenta la comparación de Indicadores Medidas Organizacionales y Legislativas en las tres ciudades de estudio; estos indicadores pretenden ser una base fundamental como apoyo a la planeación estratégica, que conlleva a la sinergia entre las organizaciones, los ciudadanos, las entidades públicas y los recursos disponibles. Para dicho análisis se presentan los siguientes indicadores:

- ✓ **Participación de los costos logísticos en el precio del producto por cadena de abastecimiento:** Representa el porcentaje de participación que poseen los costos logísticos dentro de él gran costo total un producto bien y/o servicio. En este se pueden ver reflejados; costos de distribución, costos de suministro físico y costos de servicio al cliente, puesto que son los más significativos en los que incurre la empresa u organización para garantizar un determinado nivel de servicio a sus clientes y/o proveedores.
- ✓ **Estímulos de viajes compartidos:** Es la cantidad de beneficios y/o ayudas que brinda la alcaldía a los vehículos que realicen viajes compartidos, también conocido en inglés como *carpool* o *carpooling* (práctica que radica en compartir un automóvil con personas u objetos tanto para viajes periódicos como para trayectos puntuales).
- ✓ **Incentivar el nivel de servicio de los operadores logísticos frente a las necesidades de los Servicios Logísticos:** Corresponde al número de incentivos brindados por el gobierno y/o alcaldía a las empresas que brinden el servicio de DUM en cada una de las ciudades correspondiente.
- ✓ **Relación de vehículos vacíos en las ciudades:** Hace alusión vehículos sin carga; todo vehículo de carga que al terminar de realizar la o las entregas correspondientes transita sin mercancía hasta la empresa, compañía u organización.

- ✓ **Número de desarrollos en zonas identificadas para el uso exclusivo de actividades logísticas:** Ataño a la cantidad de nuevos proyectos de desarrollo y/o innovación que estén aprobados o que se encuentren actualmente en desarrollo u/o que lleven menos de un año de implantación en zonas de actividad logística (Parques empresariales y zonas francas).
- ✓ **Infracciones de vehículos de carga:** Número de multas (Partes) impuestas por la Policía de Tránsito de Colombia, a vehículos de carga durante el año 2018.
- ✓ **Accidentabilidad en vehículos de carga:** Corresponde al número de accidentes en los que se ve involucrado un vehículo de carga, ya sea como actor principal o como un afectado del mismo.

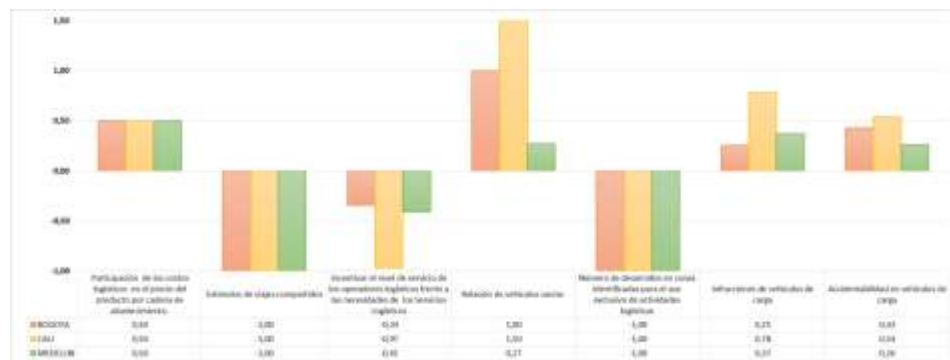
Tabla 2 Comparación de Indicadores Medidas Organizacionales y Legislativas

MEDIDAS ORGANIZATIVAS Y LEGISLATIVAS	BOGOTA	CALI	MEDELLIN
Participación de los costos logísticos en el precio del producto por cadena de abastecimiento.	0,50	0,50	0,50[6]
Estímulos de viajes compartidos	-1,00	-1,00	-1,00[7]
Incentivar el nivel de servicio de los operadores logísticos frente a las necesidades de los Servicios Logísticos	-0,34	-0,97	-0,41[8]
Relación de vehículos vacíos en las ciudades	1,00	1,50	0,27[8]
Número de desarrollos en zonas identificadas para el uso exclusivo de actividades logísticas	-1,00	-1,00	-1,00[9]
Infracciones de vehículos de carga	0,25	0,78	0,37[10]
Accidentabilidad en vehículos de carga	0,43	0,54	0,26[11]

Nota.: La tabla presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a las medidas organizacionales y legislativas.

Fuente: Autores

Figura 1 Comparación de Indicadores Medidas Organizacionales y Legislativas



Nota.: El grafico presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a las medidas organizacionales y legislativas.

Fuente: Autores

Como se puede observar, las ciudades presentan en tres de los indicadores el mismo comportamiento; por otro lado, Cali y Medellín presentan un mejor desempeño frente a la capital del país. Esto abre la puerta a nuevas acciones que permitan la mejora significativa de los procesos de toma de decisiones en Bogotá.

10.1.2. Medidas de manejo Territorial

El esquema geométrico de las vías adecuadas para cada tipo de vehículo es un indicador que permite conocer como la infraestructura responde adecuadamente al tipo de vehículos que circula por las vías, dentro de la revisión no se percibe un estudio donde se conozca un diagnóstico acerca de cómo las vías cumplen este indicador para facilitar el tránsito y la congestión de vehículos de carga en la ciudad. Para dicho análisis se presentan los siguientes indicadores:

- ✓ **Número de centros logísticos urbanos micro-localizados bajo un enfoque de sostenibilidad Menor impacto de ruido y contaminación:** Corresponde al total de centros logísticos que se encuentran en la ciudad, pero que no estén ubicados en parques industriales o zonas francas.
- ✓ **Número de zonas de cargue y descargue públicas, señalizadas y adaptadas al tipo de vehículo e infraestructura de recibo de mercancías:** Hace referencia al número de zonas y/o lugares públicos en la ciudad destinados para el cargue y descargue de mercancía, que se encuentren debidamente señalizados y adaptados al tipo de vehículo y/o infraestructura de la mercancía.
- ✓ **Cumplimiento de diseño geométrico de vías en relación con el tipo de vehículo de carga:** Concierno al diseño de las vías de cada ciudad y si este brinda una fácil movilidad a los vehículos de carga dentro de la misma.
- ✓ **Volumen de tráfico (número de vehículos que transitan corredor en un periodo de tiempo(años)):** Atañe a el número de vehículos que transitaron en las vías de la ciudad en el año 2018
- ✓ **Tiempo de cargue y descargue (min):** Es el tiempo que transcurre desde que el vehículo llega al punto de cargue o descargue, hasta que sale del mismo.
- ✓ **Tiempo de viaje (ingreso a la ciudad):** Es el tiempo que tarda en un vehículo en ingresar a la ciudad destino.
- ✓ **Robo de vehículos de carga:** Corresponde al número de robo de vehículos de carga que se presentaron durante el año 2018 en cada ciudad.

Tabla 3 Comparación de Indicadores Medidas de Manejo Territorial

MANEJO TERRITORIAL	BOGOTA	CALI	MEDELLIN
Número de centros logísticos urbanos micro-localizados bajo un enfoque de sostenibilidad Menor impacto de ruido y contaminación.	-1,00	-1,00	-1,00[12]
Número de zonas de cargue y descargue públicas, señalizadas y adaptadas al tipo de vehículo e infraestructura de recibo de mercancías.	-1,00	-0,90	-1,00[10]
Cumplimiento de diseño geométrico de vías en relación con el tipo de vehículo de carga.	-1,00	-1,00	-1,00[10]
Volumen de tráfico (número de vehículos que transitan corredor en un periodo de tiempo(años)) (millones)	0,25	0,25	1,00[13]
Tiempo de cargue y descargue (min)	0,50	0,39	0,20[14]
Tiempo de viaje(ingreso a la ciudad)(min)	0,20	0,26	0,95[15]
Robo de vehículos de carga.	1,00	1,29	1,04[16]

Nota.: La Tabla presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a los Indicadores de Medidas de Manejo Territorial,

Fuente: Autores

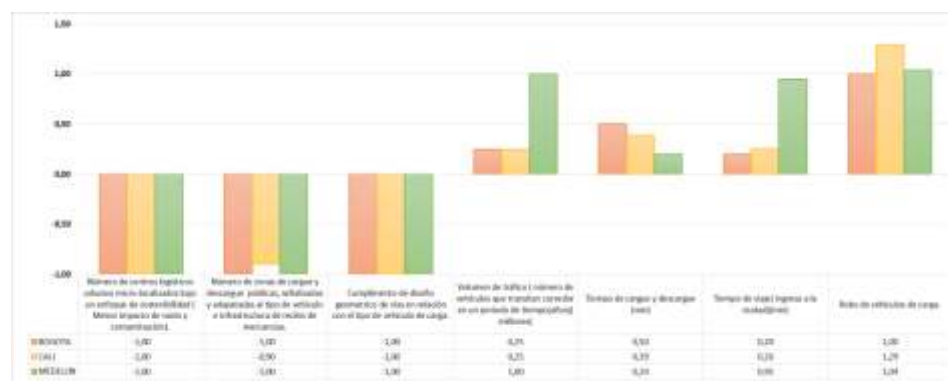


Figura 2 Comparación de Indicadores Medidas de Manejo Territorial

Nota.: El grafico presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a los Indicadores de Medidas de Manejo Territorial.

Fuente: Autores

Del mismo modo, que en las medidas organizacionales y de acceso, se puede identificar que las ciudades poseen una similitud en tres de estos indicadores; pero, en estos indicadores podemos notar como la ciudad de Bogotá tiene un mejor comportamiento que las otras ciudades de estudio, con lo que sería de gran beneficio para la misma analizar como otras ciudades que manejen la metodología de City Logistic, analizando los casos de éxito y cómo fueron aplicadas estas medidas.

10.1.3. Medidas Tecnológicas

Analizando los contenidos tanto positivos como negativos, se presentan indicadores orientados a lograr un modelo de ciudad deseado. Se presenta la comparación de Indicadores Medidas Tecnológicas en las tres ciudades de estudio. Para dicho análisis se presentan los siguientes indicadores:

- ✓ **Nivel de implementación de tecnología de trazabilidad de origen destino:** Representa la utilización de las tecnologías que actualmente hay en el mercado para uso logístico frente a la tecnología que se maneja en las ciudades de estudio.
- ✓ **Respuesta eficiente al consumidor ECR. Entregas a tiempo:** Constituye en que porcentaje se da un correcto uso a las tecnologías implementadas en las empresas y/o compañías que la tienen a su disposición.

Tabla 4 Comparación de Indicadores Medidas Tecnológicas

TECNOLOGICAS	BOGOTA	CALI	MEDELLIN
Nivel de implementación de tecnología de trazabilidad de origen destino.	-0,32	-0,32	-0,32[17]
Respuesta eficiente al consumidor ECR. Entregas a tiempo.	-0,14	-0,14	-0,14[18]

Nota.: La tabla presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a las medidas Indicadores Tecnológicos.

Fuente: Autores



Figura 3 Comparación de Indicadores Medidas Tecnológicas

Nota.: El gráfico presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a los Indicadores de Medidas Tecnológicas.

Fuente: Autores

Según una encuesta nacional sobre logística realizada el año 2015 por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), las compañías cuya finalidad es la prestación de servicios logísticos, solo el 54,7% de ellas realizan trazabilidad y monitoreo tecnológico de la carga origen-destino; con la finalidad de facilitar la operación y recorrido de la misma, para poder lograr aumentar su eficiencia. Con respecto a las entregas a tiempo y de acuerdo a la misma encuesta nacional de logística se encontró que solo alrededor de 77,3% son entregados a tiempo. Por lo que el aumento de estos indicadores puede generar mayor competitividad y trazabilidad de la logística en la Capital.

10.1.4. Medidas de Infraestructura

Abarca todas las medidas que se utilizan para construir y mantener la infraestructura de las vías. A su vez, también incluye los sistemas de mantenimiento y limpieza de la infraestructura. Básicamente se trata de la construcción de carreteras y caminos, la ampliación de redes ferroviarias o del tráfico aéreo. Para dicho análisis se presentan los siguientes indicadores:

- ✓ **Nivel de edad y servicio del corredor vial en buen estado:** Hace referencia al promedio de edad de los vehículos de carga activo y que se encuentren en buen estado (Sin problemas de motor)
- ✓ **Nivel de conectividad de los nodos logísticos urbanos con la infraestructura Regional:** Corresponde a el número de vías de acceso que brindan la posibilidad de entrar a la ciudad y la salida de la misma a otras ciudades del país
- ✓ **Velocidad de transporte de carga:** Corresponde al promedio de velocidad (Km/h) con el que se mueven los vehículos dentro de la ciudad.

Tabla 5 Comparación de Indicadores Medidas de Infraestructura

Infraestructura	BOGOTA	CALI	MEDELLIN
Nivel de edad y servicio del corredor vial en buen estado	-0,560	-0,450	-0,280[17]
Nivel de conectividad de los nodos logísticos urbanos con la infraestructura Regional (Conectividad intermodal)	-0,37	-0,44	-0,37[19]
Velocidad de transporte de carga (Km/h)	-0,78	-0,75	-0,53[20]

Nota.: La tabla presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a Indicadores de Medidas de Infraestructura.

Fuente: Autores

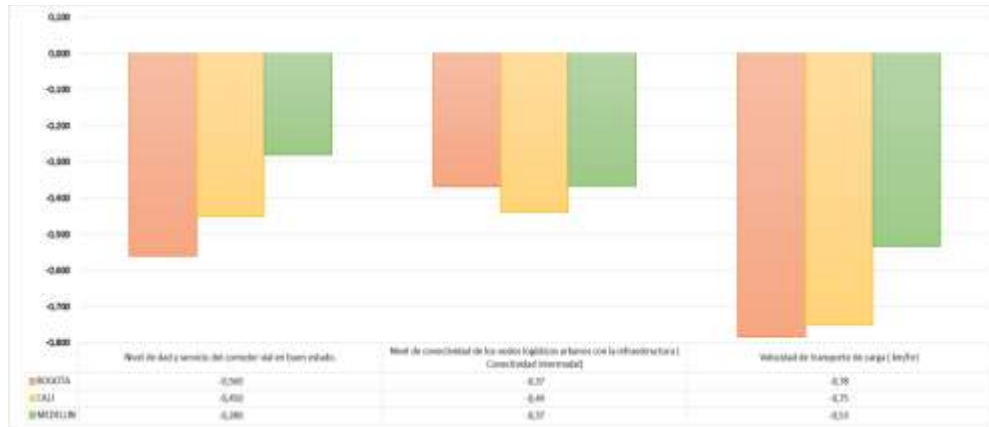


Figura 4 Comparación de Indicadores Medidas de Infraestructura

Nota.: El gráfico presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a los Indicadores de Medidas de Infraestructura,

Fuente: Autores

Con respecto a los indicadores de las medidas de infraestructura, la ciudad de Medellín tiene unos resultados favorables con respecto a las otras dos ciudades, puesto que en la conectividad y la calidad de las vías que presentan, tiene un estado eficiente con lo que comprende en el nivel de edad, servicio del corredor vial en buen estado, poseen un menor nivel de conectividad entre los nodos logísticos, y adicionalmente la velocidad con la que la mercancía se moviliza es mejor con respecto a las otras ciudades de estudio.

10.1.5. Medidas de restricciones de acceso

Se presenta la comparación de Indicadores Medidas de Restricciones de Acceso en las tres ciudades de estudio; estos indicadores pretenden ser una base fundamental como apoyo a la planeación estratégica, que conlleva a la sinergia entre las organizaciones. Para dicho análisis se presentan los siguientes indicadores:

- ✓ **Volumen por mes de vehículos por corredor con mayor utilización:** Representa el número de vehículos que transitan en los corredores viales principales y/o con mayor utilización
- ✓ **Emisiones CO_2 por transporte de carga:** Este indicador presenta información sobre las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) emitidas por los vehículos de carga en cada ciudad.
- ✓ **Nivel de calidad del aire en zonas logísticas identificadas:** Permite identificar la calidad del aire en las zonas logísticas y su efecto en la salud humana.

Tabla 6 Comparación de Indicadores Medidas de Restricciones de Acceso

RESTRICCIONES DE ACCESO	BOGOTA	CALI	MEDELLIN
Volumen por mes de vehículos por corredor con mayor utilización	0,25	0,25	0,25[19]
Emisiones CO_2 por transporte de carga (Miles Ton/año).	0,28	0,25	0,29[21]
Nivel de dad del aire en zonas logísticas identificadas	-0,60	-0,39	0,44[22]
Cumplimiento de normativo de ruido sector industrial.	-0,60	-0,65	-0,74[23]

Nota.: La tabla presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a Indicadores Medidas de Restricciones de Acceso.

Fuente: Autores



Figura 5 Comparación de Indicadores Medidas de Restricciones de Acceso

Nota.: El gráfico presenta el comparativo de las tres ciudades en cuanto a los Indicadores de Medidas de Restricción de Acceso.

Fuente: Autores

De acuerdo, a las medidas de acceso, se ha encontrado información, donde se evidencia un deterioro de la calidad del aire en las ciudades de estudio debido a que las metas en las reducciones propuestas por las diferentes entidades no han sido logradas concibiendo problemas de congestión, problemas de ruido y mala calidad del aire.

La participación de los OL (Operadores Logísticos) en el producto interno bruto de ciudades consideradas de primer mundo, como lo es la península ibérica es destacada. Con base en el análisis de 102 OL se resalta que esta actividad aporta el 9,7% del PIB nacional, cerca del principal sector de su economía el cual es el turismo. La participación logística corresponde a 63.021 millones de dólares, con una inversión en infraestructura de 3.849 millones de dólares (el 0,59% del PIB y el 6,11% del total de costos logísticos) (Resa, 2004: 59). Al mismo tiempo un operador logístico no siempre cuenta con un lugar físico. Es el caso de la compañía logística, que no posee plataforma logística ni almacenes, pero es la empresa con la mayor facturación en España; se apoya estratégicamente en outsourcing. En consecuencia, el 65% de los operadores logísticos en España prestan los siguientes servicios: almacenaje, distribución, manipulación, carga completa, gestión de stocks y carga fraccionada.

Anudado a lo anterior; de los 102 OL, 63 están especializados en bienes de consumo (el 61,76%); los sectores frigoríficos de transporte y automoción son atendidos por 13 empresas cada uno (el 12,75%); También se destaca el sector de pallets, que con solo dos operadores especializados es el segundo sector con mayor facturación promedio por empresa \$65,96 millones de dólares; el primer sector es automoción con \$79,83 millones de dólares promedio entre sus 13 operadores.

El reino unido ha concentrado sus esfuerzos en transporte aéreo, aunque han elaborados varias alternativas para fortalecer plataformas logísticas y lograr la distribución urbana que se han aplicado en otros países de Europa. No han podido implementarse en su totalidad debido a su ubicación geográfica, simplemente esta nación ha concentrado sus esfuerzos en la distribución urbana por medio terrestre y sus exportaciones son impulsadas por plataformas sofisticadas de forma aéreas y fluviales. (SPIM, 2016: 18).

Países bajos y Franca tienen desarrolladas redes de transporte mixtas las cuales se desenvuelven tomando como referente tres escalafones de nodos multimodal. Los nodos ubicados en el primer eslabón incluyen los puertos de ciudad principales, en donde en la actualidad se llevan a cabo desarrollo y construcción de zonas en donde múltiples operadores logísticas coexistieran y llevaran a cabo labores centradas en un mismo punto, en materia de distribución urbana en Alemania y Francia, se lleva a cabo por muy pocas empresas, debido al cumplimiento de la normativa impuesta por las agencias gubernamentales. (SPIM, 2016: 18).

Las plataformas conectadas y nodos ubicados en puntos estratégicos en donde los diferentes modelos de transporte como el terrestre, aéreo y portuario, se unen para lograr una gran plataforma logística multimodal, la cual da como resultado un desempeño a resaltar en América hacen de México un país líder en el continente en materia de distribución logística. En Colombia en el transcurso del tiempo se constituyen más empresas que ofrecen servicios de operación logística; a pesar de esto la mayoría de las grandes empresas del área dominan el manejo físico de mercancías; así, el concepto de gestión logística se subutiliza, limitándola sólo a manejo de inventarios, transporte y distribución en planta. La mayor aplicación de los conceptos logísticos en las empresas colombianas ha generado a las empresas que actúan como plataformas, o incluso como operadores, la necesidad de desplegar servicios más especialistas en toda la cadena de abastecimiento.

En Colombia los pocos operadores logísticos se especializan en sectores puntuales, algunos de ellos solo tienen interés en ofrecer la línea exclusiva de transporte de carga como servientrega y TCC. Sin embargo, en la última década se han constituido compañías que prestan servicios completos logísticos las cuales presta servicios en toda la cadena de abastecimiento. Cabe resaltar la constitución de empresas que se especializan en algún eslabón de la cadena de suministros como el producto final y operador logístico. Atendiendo a estas consideraciones es de resaltar la necesidad de apreciar más la logística como elemento de primordial relevancia para mejorar la capacidad de las empresas; en este ámbito tendrá que enfocarse cada vez más la actividad de los empresarios y gobiernos, pues existen aspectos que deben prevalecer para

lograr los niveles de eficacia logística de otros países; contextos de infraestructura terrestre y métodos de dirección de mercancías en la cadena de abastecimiento.

Aun cuando el apoyo de empresas asesoras en aspectos citando a él Centro Latinoamericano de Decisiones Logyca-Logística y Cadena del Valor, ha aportado a la reproducción de una conveniente construcción logística y a la aplicación de sus métodos en las empresas colombianas

10.2. Conclusiones

- Se pudo analizar que las tres ciudades de estudio, presentan problemas en la DUM debido a que una ciudad puede tener puntos a favor con respecto a las otras dos, pero no quiere decir que se encuentren en el ideal y/o meta; lo que refleja el poco nivel competitivo en el que se encuentra actualmente la DUM en Colombia.
- Se concluyó que las tres ciudades (Bogotá, Medellín y Cali) presentan bajos niveles en los indicadores; pero cabe que se encontró que la ciudad de Medellín presenta un mejor desempeño frente a las otras dos ciudades del país. Esto abre la puerta a nuevas acciones que permitan la mejora significativa de los procesos de toma de decisiones en Bogotá, y llegara a extraer las mejores prácticas de DUM que esta ciudad presenta y analizar la mejor manera de acoplarlas a la capital del País.
- Se debe tener presente que las ciudades que han hecho partícipes a los organismos privados en el diseño de políticas públicas, encuentran el apoyo y aceptación de los actores del sistema, mientras que las autoridades públicas pueden apoyar las diferentes soluciones propuestas, pueden subsidiar y facilitar la consecución de infraestructura esto dado a que en los Sistemas de Abastecimiento y Distribución de alimentos no difieren de las estrategias propuestas para la logística urbana.

10.3. Referencias Bibliográficas

- [1] Dane.gov.co. 2018. Producto Interno Bruto Por Departamento 2018 Provisional. [online] Available at:<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales>.
- [2] Escobar, Ó., 2018. Inversión En El Valle Del Cauca. 2nd ed. Valle del Cauca. Pág. 163,2018.
- [3] Macário, R., Galelo, A. & Martins, P. (2008). Business models in urban logistics. Ingeniería & desarrollo 24, 77-96
- [4] Valencia Marín, J., 2016. PROYECCIÓN DE DEMANDA COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN COLOMBIA. 3rd ed. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética, UPME.
- [5] Coninsa, R., 2017. LOS CENTROS LOGÍSTICOS, LA GRAN APUESTA DE ANTIOQUIA. 1st ed. Antioquia.
- [6] Farromeque Quiroz, R., 2016. Perfil Logístico De América Latina 2015. 4th ed.
- [7] Parra Herrera, J., 2016. Estrategias De Coordinación En Operaciones De Cargue Y Descargue De Mercancías En Ciudad. 1st ed. Bogotá.
- [8] Mintransporte, M., 2018. DOCUMENTO DE AVANCES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA POLÍTICA NACIONAL LOGÍSTICA. 1st ed. Bogotá.
- [9] Ministerio de Transporte,2019. Tablero De Control Bog-Buen 2019. [online] [Plc.mintransporte.gov.co](https://plc.mintransporte.gov.co). Available at: <https://plc.mintransporte.gov.co/Corredores/Bogot%C3%A1-Buenaventura>.
- [10] Adarme Jaimes, W., 2017. CARGUE Y DESCARGUE NOCTURNO EN BOGOTÁ. 1st ed. Bogotá
- [11] Policia.gov.co, 2018. Estadística Delictiva. [online] Policía Nacional de Colombia. Available at: <https://www.policia.gov.co/grupo-informaci%C3%B3n-criminalidad/estadistica-delictiva>.
- [12] Alonso Másmela, G., 2018. Gerencia De Logística, Transporte E Infraestructura Asociación Nacional De Empresarios. 2nd ed. Bogotá.
- [13] Bustos Morales, L., 2017. REDES DE TRANSPORTE EN LUGARES DE DIFÍCIL ACCESO. 1st ed. Bogotá.
- [14] Vega, J., 2018. Medellín, Ciudad Con Menos Vehículos Por Kilómetro Entre Las Capitales. 1st ed. Antioquia.
- [15] Moreno García, L., 2017. Medición De Tiempos Logísticos. 1st ed. Bogotá.
- [16] Alcaldía de Medellín, A., 2015. Informe Anual De Accidentalidad. 1st ed. Medellín
- [17] Gaviria Muñoz, S., 2015. Encuesta Nacional De Logística. 1st ed. Bogotá.
- [18] Córdoba, R., 2018. INFORME NACIONAL DE COMPETITIVIDAD. 1st ed. Bogotá.

- [19] [Geoportal.dane.gov.co](https://geoportal.dane.gov.co), 2017. Geoportal DANE - Inicio. [online] [Geoportal.dane.gov.co](https://geoportal.dane.gov.co). Available at: <<https://geoportal.dane.gov.co>>
- [20] Investpacific, inversión del pacifico, 2017, www.investpacific.org/es/modelos-de-negocio.php?id=420
- [21] CORREA ESCOBAR, M., 2016. Antioquia Es El Departamento Con Más Emisiones De CO2 En El País. Medellín.
- [22] Alcaldía de Santiago de Cali. 2019. Boletines diarios de la calidad del aire. [online] <http://www.cali.gov.co/documentos/2704/>
- [23] Gómez Londoño, E., 2015. MAPA DE RUIDO DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI. 6th ed. Cali.

Identificación de correlaciones entre variables de estado ecoacústicas y ciclos celestes en un Bosque Perhúmedo Montano Bajo del Departamento de Santander.

Juan Pablo Gómez Cardona¹, Juan Ernesto Almeida Ospina²,
Hollman Daniel Quintero Salazar³

juanp.gomezc@unilibre.edu.co; juan.almeida@unilibre.edu.co;
Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Libre Seccional Socorro

11.1. Resumen

La ecología del paisaje sonoro ha venido emergiendo como una disciplina útil y versátil en el estudio y evaluación ecosistémica. Dentro de esta disciplina existe el uso y aplicación de variables de estado cuya definición está ligada a magnitudes representativas de un sonido específico en términos de intensidad, frecuencia y complejidad. No hay un conocimiento claro sobre el comportamiento de paisajes acústicos y la sucesión o periodicidad de ciclos celestes. El presente estudio empleó distintos índices acústicos con tal de evaluar su periodicidad y encontrar correlaciones con los ciclos celestes. Se registró el panorama acústico de un bosque Perhúmedo montano bajo ubicado en el corregimiento de La Palma, departamento de Santander, desde el mes de marzo al mes de mayo del 2019. Para procesar la información se redactó un código escrito en C++ funcionando sobre el paquete computacional ROOT y acoplado a las librerías libsnd y fftw. El peso El registro se llevó acabo con la grabadora TASCAM DR-40 grabando a un solo canal, a una tasa de muestreo de 48000 Hz y 16 bit de profundidad. La información fue procesada en su totalidad digital aproximado de la totalidad de la información fue cercano a los 500 Gigabyte. en un lapso menor a una semana. Se encontró periodicidad en las variables RMS, entropía total y ACI para el mes de abril y mayo, coincidiendo sus ciclos con el periodo de rotación terrestre de 24 horas. El patrón de correlación muestra que la energía y complejidad acústica de un ecosistema varían en función de la sucesión de ciclos celestes (como el ciclo diurno-nocturno). El uso de métodos computacionales versátiles y potentes se presentan como una gran ayuda en el manejo de grandes volúmenes de información.

Palabras Claves: Ciclos celestes, ecología del paisaje sonoro, rotación, índice acústico, periodicidad.



Figura 1 Grabadora TASCAM DR-40

Fuente: Canford.co.uk, 2018

11.2. Introducción

Recientemente la ecología del paisaje sonoro (soundscape ecology) ha emergido como una herramienta eficaz para el monitoreo ecológico y la administración ambiental (Pijanowski, et al., 2011). Debido a su estrecha relación con la calidad paisajística y la valoración ecosistémica, es un útil instrumento de análisis de amplio interés para todas las profesiones involucradas en el ámbito ambiental. Diversos estudios han sido realizados a nivel mundial con estos dos enfoques: el monitoreo ambiental y la ecología del paisaje sonoro. Los análisis y conclusiones muestran la importancia de incluir este campo de estudio como una variable de trascendencia; las temáticas abarcan desde cambio climático (Krause y Farina, 2016), hasta evaluación de impacto ambiental en ecosistemas naturales por causas antropogénicas (Deichmann, et al., 2016). Así, se tiene que la ecología del paisaje sonoro, específicamente uno de sus apéndices, la Ecoacústica (Sueur y Farina, 2015), puede servir como un pilar de desarrollo en el cuidado y preservación de los ecosistemas colombianos.

11.2.1. Descripción del Problema

Dentro de la amplia gama de análisis que concuerdan con los temas aquí expuestos, son pocos aquellos que tienen como enfoque principal la relación existente entre los cambios secuenciales de las variables Ecoacústicas de un determinado ecosistema y los ciclos o periodos celestes. No obstante, se han presentado observaciones sobresalientes en la dinámica de la bioacústica marina en conjunción con el suceso de los ciclos celestes (Staaterman, et al., 2014; Lillis y Mooney, 2018). De manera muy general, la mayoría de los estudios que relacionan las dinámicas acústicas y los periodos celestes se encuentran inmersas en el campo de la bioacústica, relegando la dinámica de los análisis a especies concretas de un ecosistema, omitiendo de esta forma la composición holística del mismo.

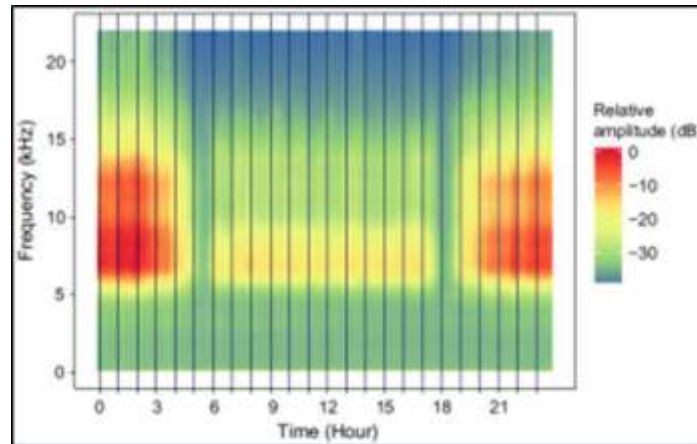


Figura 2 Representación del espectro promedio diario en un ecosistema de agua dulce.

Fuente: Gottesman, et al., (2018). Traducido al español.

Debido al volumen y cantidad de la información muestreada (tres meses de grabación) se recurrió al uso de herramientas informáticas de gran capacidad de análisis y versatilidad de uso. Para el caso concreto, se redactó un código escrito en lenguaje C++ (Stroustrup, 2013) haciendo empleo de las librerías libsnd (lectura de archivos .wav) y fftw3 (transformada de Fourier), a su vez haciendo empleo de histogramas pertenecientes al paquete computacional ROOT (CERN, 2014) en su versión para Scientific Linux versión 6.

11.2.2. Antecedentes

Lillis y Mooney (2018) estudiaron el comportamiento de camarones pistola a través de la sucesión de ciclos celestes en dos lugares distintos (sistemas coralinos) en la isla de San Juan (St John). Una particularidad de estos organismos es poseer la habilidad de producir sonidos al chasquear sus pinzas. Los arrecifes mostraron patrones sonoros espaciotemporales marcados en función de los ciclos diarios y los periodos lunares. Por otra parte, las tasas acústicas del chasquido de estos crustáceos tuvieron alta presencia al amanecer y al ocaso. El estudio también hizo correlaciones entre variables meteorológicas y oceanográficas con los patrones acústicos. Del mismo modo, Rodríguez, et al., (2014) estudiaron el paisaje sonoro en un ecosistema tropical presente en la Guyana Francesa. Realizaron un análisis espacio temporal al área de muestreo instalando sensores en distintos puntos (variando en función del nivel de incidencia antrópica) y observando su variación en el tiempo; identificaron patrones acústicos a lo largo del ciclo horario producidos por características espectrales, mostrando heterogeneidad acústica a través del día, pero periodicidad en escalas de tiempo más largas.

11.2.3. Pregunta Problema

¿Existen correlaciones entre la sucesión de ciclos celestes y la periodicidad de variables de estado Ecoacústicas en un bosque Perhúmedo montano bajo?

11.2.4. Justificación

La Ecoacústica se presenta como un método recursivo e ingenioso para evaluar el impacto que tiene la intervención humana en ecosistemas naturales o prístinos. Es de carácter meritorio mencionar la importancia de analizar variables Ecoacústicas a través del tiempo como un indicador ambiental cuyo fin último, salvaguardando las características propias del sitio de análisis, aduce a la medición de impactos antropogénicos (Pijanowski, et al., 2011; Sueur y Farina, 2015; Sueur, et al., 2014). Bajo este orden de ideas, el presente estudio plantea descifrar el comportamiento secuencial de variables Ecoacústicas en función de ciclos celestes; dicho enfoque se realiza con el fin de estandarizar patrones de conducta ecosistémica aplicables a estudios de impacto ambiental. Los análisis y conclusiones redactados estarán proyectados entonces, como un contribuyente teórico a la aplicación de la Ecoacústica en los casos de monitoreo ambiental para el caso colombiano.

11.2.5. Objetivo General

Identificar las correlaciones existentes entre variables de estado Ecoacústicas y ciclos celestes en un bosque Perhúmedo montano bajo del departamento de Santander.

11.2.6. Objetivos Específicos

- Registrar el panorama acústico del ecosistema desde el mes de marzo al mes de mayo de 2019.
- Diseñar el análisis de la correlación entre variables de estado Ecoacústicas y los ciclos celestes.
- Analizar los resultados obtenidos y ejecutar iteraciones y/o ajustes al análisis de las variables de estado Ecoacústicas.

11.3. Metodología

11.3.1. Localización

El proyecto se realizó en un área boscosa cercana al corregimiento de La Palma, Gambita departamento de Santander. Dicho emplazamiento está ubicado en inmediaciones a la línea divisoria entre los departamentos de Boyacá y Santander, este sector se clasifica como bosque Perhúmedo montano bajo según el sistema de zonas de vida de Holdridge. El área de muestreo se ubica a 1.5 kilómetros del casco urbano del corregimiento. Las coordenadas del punto de muestreo según el sistema WGS84 son: longitud -73.36° , latitud 5.87° y una elevación de 2137.5 m.s.n.m.

11.3.2. Tipo de Investigación

Debido a la naturaleza de la información, la investigación toma un enfoque cuantitativo-numérico en función del proceso analítico y procedimental de los resultados y los datos recolectados. Todo proceso involucrado con el muestreo y el análisis de señales acústicas involucra el uso de herramientas matemáticas (tal es el caso del análisis de Fourier (O'Neil, 2015)) e índices estadísticos.

La investigación es una iniciativa cuasi pionera en el campo de estudio donde se desarrolla; el modo en que fueron procesados los datos, junto a las herramientas empleadas, son una alternativa sin precedentes en el campo de la ecología del paisaje sonoro.

11.3.3. Definición de variables e indicadores

Tabla 1 Variables y su clasificación.

Tipo de variable	Variable	Unidad
Dependiente	Intensidad acústica	dB, W/m ²
	Frecuencia	Hz
	RMS	W/m ²
	Entropía total	--
	ACI	--
Independiente	Localización	G° M'S''; m
	Tiempo	s, h, m, d
	Formato de grabación	WAV, mp3
	Arreglo de micrófonos	(A-B) (X-Y)
	Tasa de muestreo	Hz
	Tamaño de muestreo	Bit
Interviniente	Clima	--
	Precipitación	mm
	Actividades antrópicas	--

Fuente: Autores

11.3.4. Técnicas de Investigación

La técnica utilizada para la recopilación de la información fue el muestreo y análisis de información primaria y secundaria. Como medida principal, la información primaria fue recopilada mediante el muestreo que se realizó al panorama acústico del punto de estudio en el lapso dispuesto, a ello se sumó la sistematización de los datos y el procesamiento de estos con herramientas informáticas seleccionadas. Como información secundaria se tienen los antecedentes y el material bibliográfico correspondiente.

11.3.5. Análisis Estadístico

En la ejecución de la investigación la técnica estadística utilizada fue cuantitativa. En la medición de cada uno de los ciclos registrados se midió la duración en horas de cada uno de ellos. A partir de esto se calcularon medidas de tendencia central y dispersión estadística.

11.3.6. Equipos de Medición.

El equipo de medición principal fue la grabadora TASCAM DR-40 usando en su funcionamiento dos memorias SanDisk de 32 Gigabytes de capacidad cada una. Los paquetes computacionales empleados fueron ROOT, Audacity y Raven Pro-1.5. El lenguaje de programación utilizado fue C++.

11.3.7. Población y Muestra

El punto de grabación escogido está ubicado en un área boscosa del corregimiento de La Palma, Santander (panorama acústico). Se hizo registro de audio por tres meses seguidos (marzo a mayo de 2019) a una tasa de muestreo de 48000 Hz y a una profundidad de 16 bit (Villanueva-Rivera, et al., 2011; Charif, Waack, y Strickman, 2010)).

11.3.7.1. Procedimiento

En orden jerárquico, y según los objetivos planteados, las acciones y decisiones realizadas durante el proyecto sucedieron de la siguiente manera: Fueron efectuadas pruebas preliminares para conocer las condiciones de grabación según la tasa de muestreo y el tamaño de muestreo. Con esta información, y junto a otras características procedimentales se escogió una tasa de muestreo de 48 kHz y 16 bit de profundidad grabando en un canal. Los micrófonos de la grabadora estuvieron posicionados de la forma A-B registrando audio en modo mono (un solo canal).

La información recolectada era procesada con el paquete computacional Audacity con el fin de diseccionar el archivo original de la grabadora (6 horas, 12 minutos aprox.) en intervalos de 60 minutos. También, haciendo uso de esta herramienta, eran sustraídas aquellas partes de la grabación donde existiera sonido no deseado, como pasos o voces, al principio y al final de la grabación, ocasionado por el cambio de memoria.

El diseño e implementación de análisis se desarrolló de manera paralela con la toma de datos. Una vez recolectada la totalidad de la información se procedió a ejecutar el diseño de análisis. El diseño de análisis estuvo orientado a realizar análisis de Fourier a las variables de estado Ecoacústicas. El análisis de Fourier planteó tomar todas las horas cuya naturaleza fuese continua (sin interrupción por fallos) e intentar precisar los ciclos fundamentales (periodicidad) que allí existieran, estos, en función de la hipótesis planteada, deberían mostrar la periodicidad del ciclo diurno-nocturno ocasionado por la rotación de La Tierra alrededor del Sol.

El procesamiento de los datos en ROOT se llevó a cabo con un código fuente elaborado por el investigador Juan Pablo Gómez Cardona, parte del grupo de Ecoacústica de la Universidad Libre. Dicho código, escrito en C++, tenía la capacidad de procesar el audio, realizar su respectivo análisis de Fourier (sonido bruto) y calcular las variables de estado Ecoacústicas.

Debido a las características de la información y al proceso de análisis, se ejecutó un ciclo iterativo al proceso de datos a fin de encontrar la periodicidad y las posibles correlaciones relativas a los ciclos celestes.

11.4. Resultados

11.4.1. Horas Registradas

La toma de datos comenzó el 3 de marzo del 2019 a las 5 p.m. y finalizó el 4 de junio del mismo año a las 6 a.m. En su totalidad, fueron registradas 1860 horas con una dimensión digital aproximada de 500 Gigabytes (medio Terabyte). Todos los archivos resultantes se encuentran en formato WAVE (.wav) en un solo canal. Debido a fallas en el equipo y a diferentes problemas relacionados con la fuente de energía de la grabadora, se obtuvieron dos grupos de 32 días aproximadamente (un mes), el primero desde las 10 a.m. del 28 de marzo hasta las 6 a.m. del 30 de abril, y el siguiente desde las 11 a.m. del 2 de mayo hasta el 4 de abril a las 6 a.m., con un total de 789 y 788 horas respectivamente. La brecha sin información ocurrida desde el 30 de abril a las 7 a.m. hasta el 2 de mayo a las 10 a.m. obedece a un fallo propio del dispositivo de grabación. Dadas las condiciones anteriores se tiene entonces que las horas empleadas para el análisis fueron las acontecidas en los lapsos mencionados.

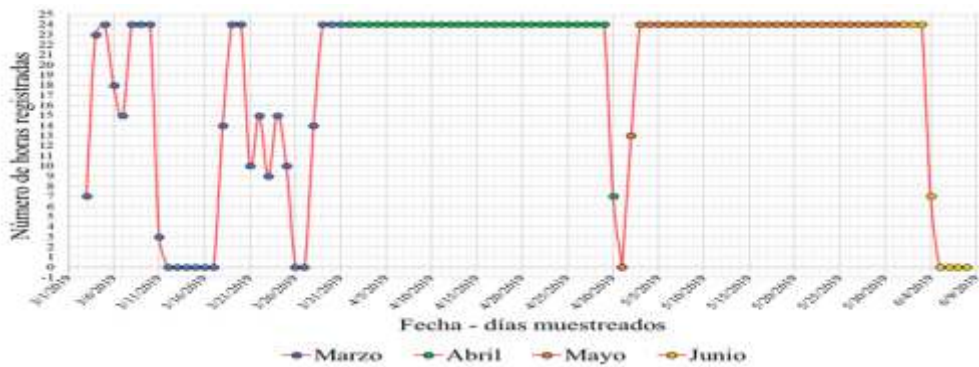


Figura 3 Número de horas muestreadas por día
Fuente: Autores

11.4.2. Procesamiento de datos

Se procesaron dos grupos de 768 horas. El primero comenzó el 29 de marzo a las 7 p.m. (mes de abril) y el segundo comenzaba el 2 de mayo a las 7 p.m. (mes de mayo). Cada uno tuvo un tamaño en la DFT de 16384 puntos ($4096 \cdot 4$), por lo cual, cada punto equivalía a 2.7 minutos ($(768 \cdot 60) / 16384$) aproximadamente. De este modo se calcularon las variables de estado para cada uno de los dos grupos de datos. La computadora empleada para correr los datos tardó 3 días en procesar cada uno de los ciclos (procesador Intel Core i7, 12 Gigabytes de memoria RAM). Tanto el RMS, la entropía total y el ACI presentaron una periodicidad de 32 días correspondiente a al número de horas que fueron procesadas (768).

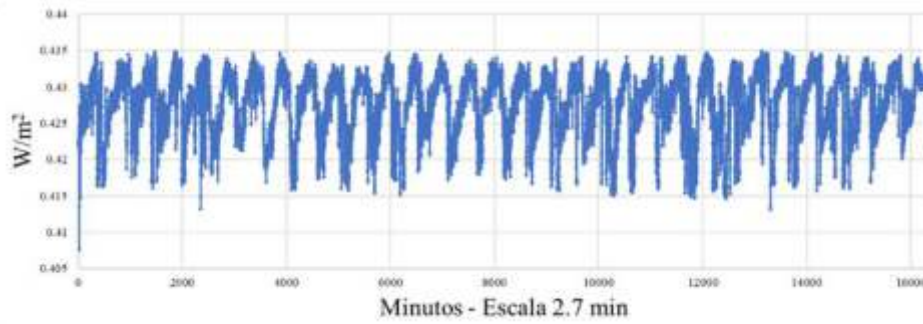


Figura 4 Gráficos de periodicidad RMS para el mes de abril.
Fuente: Autores

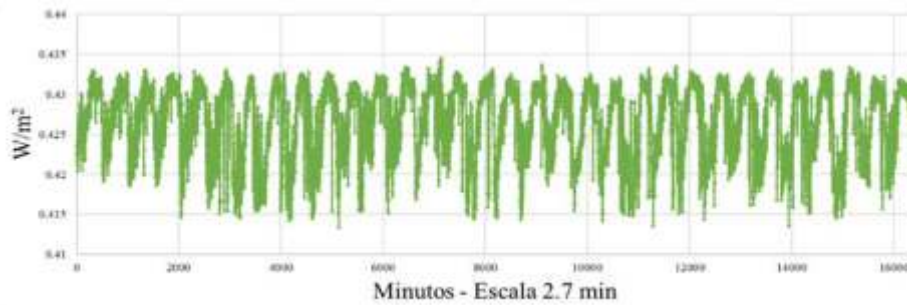


Figura 5 Gráficos de periodicidad RMS para el mes de mayo.
Fuente: Autores

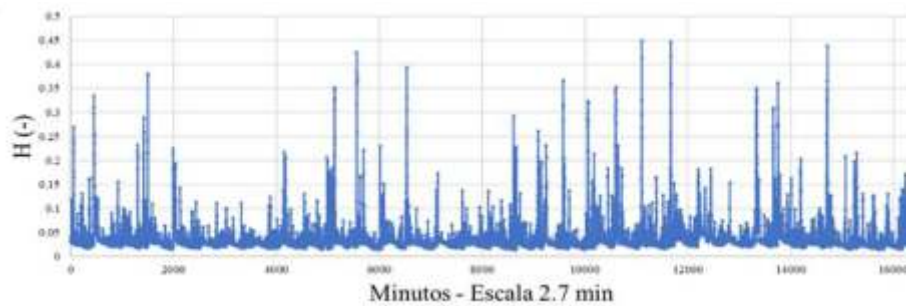


Figura 6 Gráficos de periodicidad Entropía total para el mes de abril.
Fuente: Autores

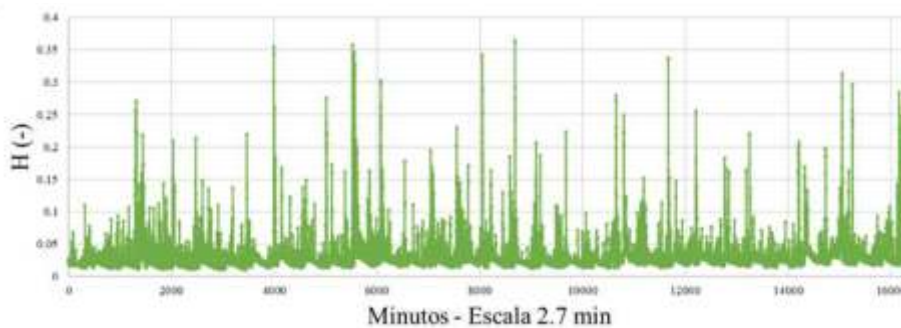


Figura 7 Gráficos de periodicidad Entropía total para el mes de mayo.
Fuente: Autores

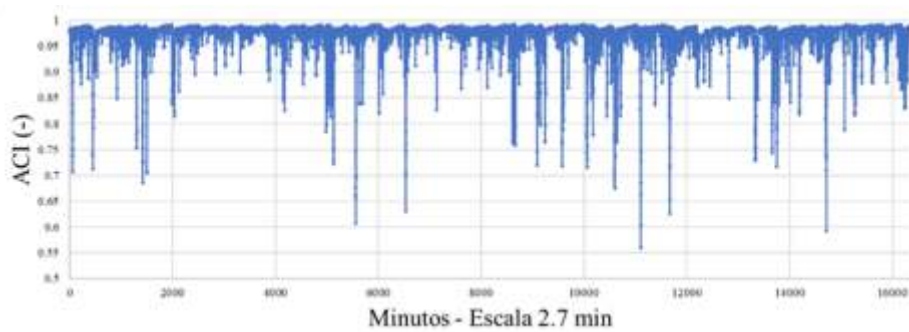


Figura 8 Gráficos de periodicidad ACI para el mes de abril.

Fuente: Autores

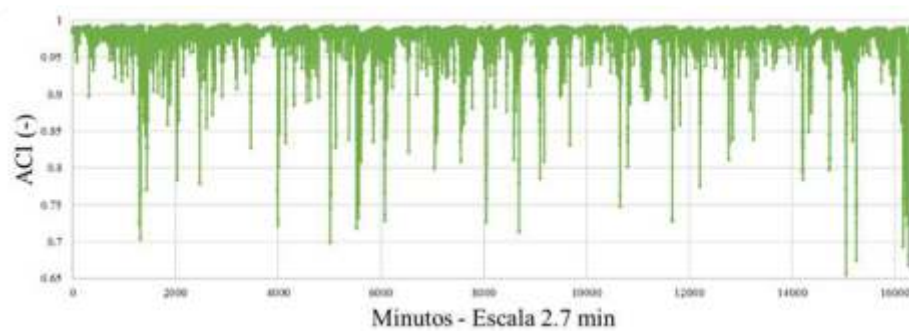


Figura 9 Gráficos de periodicidad ACI para el mes de mayo.

Fuente: Autores

Para cada uno de los grupos y las variables escogidas se identificaron los 32 días procesados. Conociendo las dimensiones de los datos y sabiendo cómo medir la periodicidad diaria en función del tamaño de la DFT, los resultados arrojaron una media de 23.70 horas con base a todas las medias calculadas (dos meses y tres variables). Por otra parte, la media calculada para el mes de abril usando las tres variables fue de 23.70 horas y para mayo de 23.69 horas. Del mismo modo, la variable RMS para ambos meses tuvo una media de 23.67 horas, la entropía total una media de 23.67 horas y el ACI una media de 23.73 horas. Todas las medidas de tendencia central distan menos de una hora del ciclo diario de 24. La totalidad de las variables analizadas para ambos meses presentaron un coeficiente de variación menor al 30%, siendo el mayor valor del 23 % (ACI abril y RMS mayo) y el menor del 16 % (RMS abril); esto indica baja variabilidad en los datos analizados.

El valor máximo registrado para todo el procedimiento fue de 35.08 horas, perteneciente a la variable entropía total (H) para el mes de abril, y el valor mínimo registrado para todo el procedimiento fue de 12.35 horas, perteneciente a la variable ACI para el mes de abril. El rango con mayor valor fue de 22.59 horas perteneciente a la variable entropía total (H) para el mes de abril.

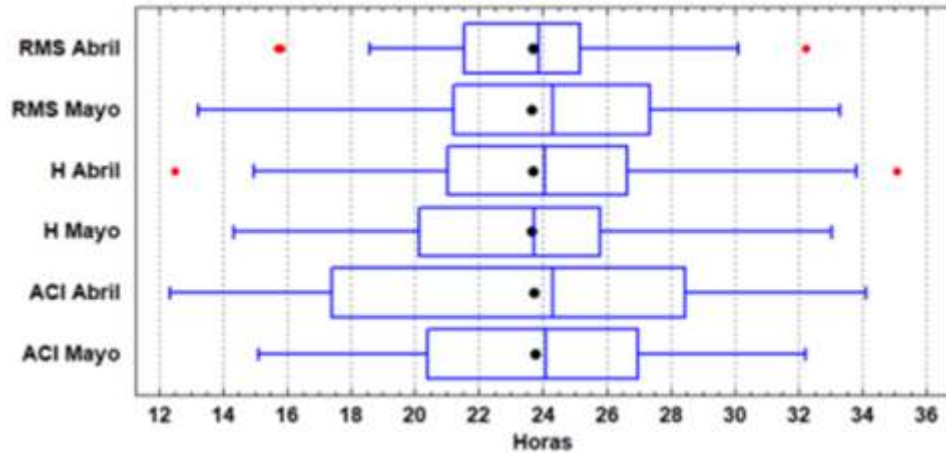


Figura 10 Gráficos Box Plot de los cálculos realizados.
Fuente: Autores

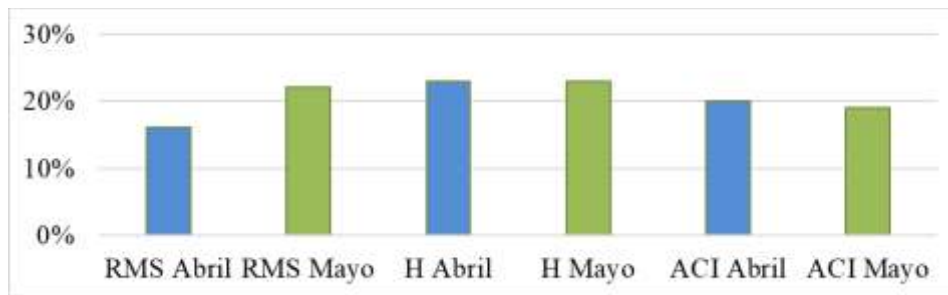


Figura 11 Coeficientes de variación de los valores obtenidos por cada variable.
Fuente: Autores

El coeficiente de asimetría de Pearson mide el sesgo estadístico en una distribución de datos y sus valores oscilan entre 3 y -3 (sesgo hacia la derecha y a la izquierda respectivamente, el valor 0 equivale a una distribución simétrica). Para el caso en cuestión, todos los valores de asimetría de Pearson calculados oscilaron entre -0.34 y -0.04 lo cual indica la inexistencia de sesgo estadístico significativamente apreciable en los datos obtenidos (también llamado sesgo nulo).

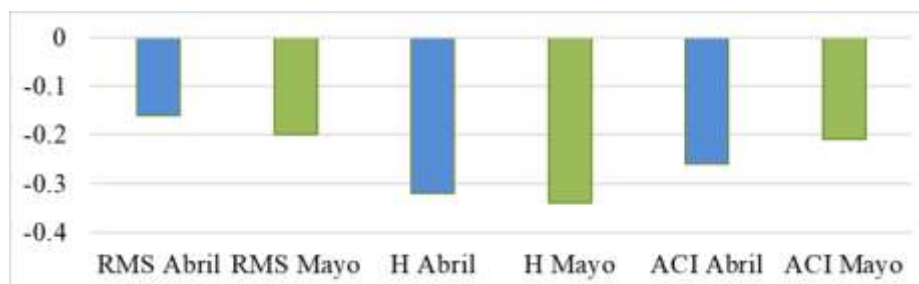


Figura 12 Coeficientes de asimetría de Pearson de los valores obtenidos por cada variable.
Fuente: Autores

La curtosis mide la proximidad que tiene una concentración de valores a la medida de tendencia central promedio. Este coeficiente caracteriza un grupo de datos en distribuciones platicúrticas (valor menor a 0), mesocúrticas (valor igual a 0) y leptocúrticas (valor mayor a 0) según sea el resultado que arroje el cálculo. Las curtosis calculadas para los datos obtenidos oscilaron entre -0.81 hasta 0.35. Es importante subrayar que cuatro de las seis variables analizadas tuvieron valores menores a 0 (ACI abril, RMS mayo, H mayo y ACI mayo) teniendo así tendencia platicúrtica; una presentó una curtosis próxima a 0 (H abril) clasificándola como distribución mesocúrtica y la restante un valor con tendencia leptocúrtica (RMS abril).

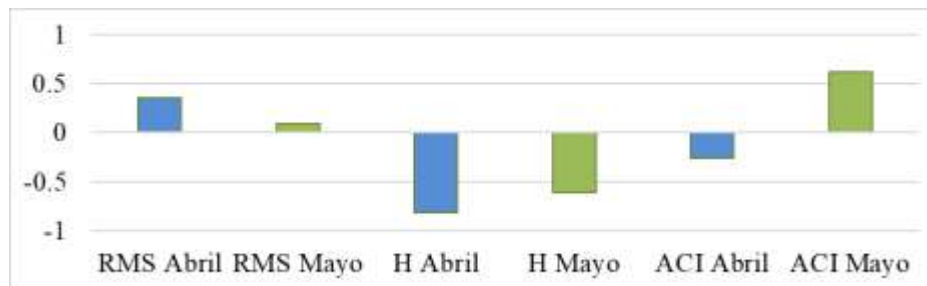


Figura 13 Índice de curtosis de los valores obtenidos por cada variable.
Fuente: Autores

El análisis estadístico muestra de manera relevante la proximidad de los ciclos calculados con los periodos de 24 horas diarios, incluso teniendo en cuenta los datos atípicos y la distribución correspondiente de cada variable. Todas las variables procesadas parecen tener un comportamiento estadístico homogéneo en términos generales. A pesar de esto, vale la pena mencionar la variable con más afinidad al ciclo de rotación terrestre: el RMS para el mes de abril. La variable en cuestión presentó la distribución más leptocúrtica (0.35) y la segunda más simétrica de todas (-0.16), lo cual indica que la gran mayoría de los valores calculados cumplieron (o fueron muy cercanos) las 24 horas del día. Por otra parte, dicha variable tuvo el mayor valor dentro de los valores mínimos calculados (15.69) y el menor valor dentro de los valores máximos calculados (32.22, compartiendo este lugar con el índice ACI para el mes de mayo), siendo estos incluso datos atípicos. Esta relación de valores máximos y mínimos reafirman la idea de la proximidad de esta variable al ciclo de 24 horas. Otra variable con tendencias similares fue el RMS para el mes de mayo.

11.5. Discusión

El análisis de resultados indica que existe periodicidad diaria para las variables RMS, entropía total (H) y ACI (Acoustic Complexity Index), dicho de otro modo, el panorama acústico del lugar muestreado presentada evidente secuencialidad en términos de variables de estado Ecoacústicas para un periodo de 24 horas. Según Siderenkov (2009) el periodo de rotación terrestre tarda 86164.09 segundos en completar un ciclo. Por otra parte, los datos aquí expuestos presentan una media de 85320 segundos teniendo un desfase de 844 segundos de diferencia con el autor mencionado.

Del mismo modo, los resultados coinciden con las conclusiones de Gottesman, et al., (2018), Rodríguez, et al., (2014), Lillis y Mooney (2018) y Staaterman, et al., (2014) cuyas proposiciones indican que existe homogeneidad en los patrones acústicos a través de los días y con el cambio de las horas. La premisa anteriormente mencionada surge a raíz de analizar los distintos resultados obtenidos en el procesamiento de los datos.

De igual manera, los datos obtenidos mostraron que cada periodo representa 23.70 horas en promedio. Según el análisis estadístico es viable decir que los datos son confiables y las medidas de tendencia central son aceptables para corroborar la hipótesis planteada. Asimismo, y apoyando la idea anterior, los datos analizados tuvieron un coeficiente de variación menor al 30% lo cual indica una dispersión bastante aceptable (numéricamente). Sin embargo, a pesar de ser datos homogéneos, la distribución en cada una de las variables debería haber sido (al menos en su mayoría), de tendencia leptocúrtica, este patrón indicaría que la gran mayoría de ciclos evaluados en cada una de las variables estuvieron cercanos al valor real del ciclo diario (expresado en horas). La única variable con dicho comportamiento (estadísticamente aceptable) fue el RMS para el mes de abril.

11.6. Conclusiones

El uso de herramientas de programación y marcos de trabajo informático potentes son un excelente instrumento para la solución de problemas de investigación relacionados con la Ecoacústica y otras áreas de la ingeniería relacionadas con el modelo Big Data. Fue procesada una carga de datos de aproximadamente 500 Gigabyte en un lapso inferior a 7 días.

Las variables de estado Ecoacústicas son elementos matemáticos útiles para evaluar el estado y comportamiento de un ecosistema en términos de regularidad en función del tiempo. Se hizo empleo de 3 variables de estado Ecoacústicas (RMS, entropía total y Acoustic Complexity Index). El RMS fue la variable con características periódicas más aparentes y cuyo análisis fue quizá el más concluyente respecto a la hipótesis y diseño metodológico empleados.

El panorama acústico estudiado presentó una fuerte relación de reciprocidad con el movimiento de rotación terrestre espaciado en ciclos de 24 horas, es muy probable que exista una amplia relación entre los cambios de horario de la luz solar y el comportamiento de paisajes y ecosistemas sonoros. Según lo tratado anteriormente, es correcto advertir que los ciclos calculados en las variables procesadas tienen una afinidad muy cercana al periodo de 24 horas diario; todas las medidas de tendencia central, junto a las medidas de distribución y sesgo, corroboran este planteamiento. La diferencia promedio del valor calculado fue de 0.3 horas (18 minutos).

El RMS expresa el grado de energía acústica en un momento específico a partir de valores de intensidad sonora, mientras que la entropía y el índice ACI, reflejan la cantidad de información presente en un sonido a partir de la presencia de biofonías y geofonías. Se tiene entonces que, la energía acústica de un ecosistema específico, al igual que su complejidad acústica a partir de cambios en frecuencia e intensidad, cambian a razón de ciclos de 24 horas continuos en el tiempo.

11.7. Recomendaciones

Debido a la interacción de distintas fuentes intervinientes en la toma de datos (tal como ríos, lluvia y demás fenómenos atmosféricos) es considerable tener en cuenta el uso y aplicación de variables meteorológicas para calibrar los datos obtenidos.

Con el fin de comprender la relación de los ciclos celestes y el cambio periódico de variables de estado Ecoacústicas, es recomendable precisar el modo en que se relacionan los distintos índices acústicos a través del tiempo. Del mismo modo y respecto a lo anterior, es necesario diseñar análisis metodológicos enfocados en la búsqueda de relaciones acústicas periódicas frente a ciclos celestes como las fases de la luna o los cambios interanuales. Otro análisis que puede dar resultados dicientes acerca de las características del paisaje sonoro es el estudio de cambios temporales presentes en diferentes rangos de frecuencia. De la misma manera, sería indicado procesar lo datos con intervalos de espaciado temporal más amplio (horas, días, semanas).

También es importante mencionar que los datos procesados en formato de audio bruto WAVE, deben tener un proceso de edición estándar con el fin de no alterar los resultados de la investigación o perder información importante. La aplicación de otros índices de diversa aplicación podría mejorar los resultados y conclusiones del estudio, en términos de complejidad de especies y demás. La Ecoacústica también se presenta como una ciencia capaz de expandirse a campos específicos como la climatología, la hidrología, el desarrollo urbano, etc.

11.8. Agradecimientos

Los autores expresan agradecimientos a la Universidad Libre Seccional Socorro por hacer préstamo de los equipos empleados en la investigación. A su vez, los autores ofrecen agradecimientos a todas aquellas personas relacionadas con el proyecto que colaboraron de manera directa o indirecta.

11.9. Referencias Bibliográficas

- Canford.co.uk. (2018, 10 24). TASCAM DR-40 PORTABLE RECORDER 4-Channel WAV/MP3, SD/SDHC, mic/line in, stereo cardioid mic. Retrieved from Canford - Professional audio, video and broadcast equipment: https://www.canford.co.uk/Products/93-4294_TASCAM-DR-40-PORTABLE-RECORDER-4-Channel-WAV-MP3-SD-SDHC-mic-line-in-stereo-cardioid-mic
- CERN. (2014). About ROOT. Obtenido de ROOT Data Analysis Framework: <https://root.cern.ch/about-root>
- Charif, R., Waack, A., & Strickman, L. (2010). Raven Pro 1.4 User's Manual. Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology.
- Deichmann, J. L., Hernández-Serna, A., Delgado C., J. A., Campos-Cerqueira, M., & Aide, T. M. (2016). Soundscape analysis and acoustic monitoring document impacts of natural gas exploration on biodiversity in a tropical forest. *Ecological Indicators*. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.11.002
- Gottesman, B. L., Francomano, D., Zhao, Z., Bellisario, K., Ghadiri, M., Broadhead, T., . . . Pijanowski, B. C. (2018). Acoustic monitoring reveals diversity and surprising dynamics in tropical freshwater soundscapes. *Wiley Freshwater Biology*. DOI: 10.1111/fwb.13096
- Krause, B., & Farina, A. (2016). Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity. *Biological Conservation*. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.01.013
- Lillis, A., & Mooney, T. A. (2018). Snapping shrimp sound production patterns on Caribbean coral reefs: relationships with celestial cycles and environmental variables. *Coral Reefs*. DOI: 10.1007/s00338-018-1684-z
- O'Neil, P. V. (2015). *Matemáticas avanzadas para ingeniería*. México: Cengage Learning.
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., . . . Pieretti, N. (2011). Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. *BioScience*. DOI: 10.1525/bio.2011.61.3.6
- Rodriguez, A., Gasc, A., Pavoine, S., Grandcolas, P., Gaucher, P., & Sueur, J. (2014). Temporal and spatial variability of animal sound within a neotropical forest. *Ecological Informatics*. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2013.12.006
- Sidorenkov, N. S. (2009). *The Interaction between Earth's Rotation and Geophysical Processes: Motions of the Earth*. Wiley Online Library. DOI: 10.1002/9783527627721.ch2
- Staaterman, E., Paris, C. B., DeFerrari, H. A., Mann, D. A., Rice, A. N., & D'Alessandro, E. K. (2014). Celestial patterns in marine soundscapes. *Marine Ecology Progress Series*. DOI: 10.2307/24894641

Stroustrup, B. (2013). *The C++ Programming Language Fourth Edition*. EEUU: Pearson Education, Inc.

Sueur, J., & Farina, A. (2015). *Ecoacoustics: The Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound*. *Biosemiotics*. DOI: 10.1007/s12304-015-9248-x

Sueur, J., Farina, A., Gasc, A., Pieretti, N., & Pavoine, S. (2014). *Acoustic Indices for Biodiversity Assessment and Landscape Investigation*. *Acta Acustica United with Acustica*. DOI: 10.3813/AAA.918757

Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., Doucette, J., & Pekin, B. (2011). *A primer of acoustic analysis for landscape ecologists*. *Landscape Ecology*. DOI: 10.1007/s10980-011-9636-9

Análisis de eficacia de la gestión del proceso de difusión de alertas por fenómenos naturales por parte del sistema nacional para la gestión del riesgo de desastres de Colombia.

Fabian Leonardo Yory Sanabria¹, María del Rocio Morales Salgado², Pérez-Coutiño M.A³

fabian.yory@unilibre.edu.co; mariadelrocio.morales@upaep.mx; direccion@pymenweb.com
Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Libre Seccional Socorro

12.1. Resumen

El artículo tiene como propósito establecer el nivel de eficacia del proceso de gestión del Sistema Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres de Colombia (SNGRD) en los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander para la difusión de las alertas por fenómenos naturales determinando si es oportuno y eficiente respecto de las condiciones de vida que presenta la población. Se parte de una revisión detallada de los productos y actividades de los diversos organismos del SNGRD, así como del análisis de datos obtenidos de una entrevista estructurada aplicada a 388 habitantes en zonas de riesgo. Mediante la aplicación de pruebas no paramétricas a los resultados se pudo establecer si existen inconsistencias en el desarrollo de las políticas de gestión del riesgo que ha propuesto el gobierno, lo que estaría ocasionando el incremento de la vulnerabilidad de la sociedad.

Palabras clave: Gestión de los riesgos, Fenómenos naturales, Servicios de alerta informativa, Protección civil.

12.2. Introducción

Desde hace cerca de tres décadas, los esfuerzos por trabajar en el tema de la reducción de la vulnerabilidad en Colombia han sido intensos, se han desarrollado diversas herramientas y estrategias por diferentes entidades especializadas pero actualmente esta información está dispersa y no se presenta ni uniformidad ni periodicidad en su divulgación, adicionalmente, no se evidencian esfuerzos que procuren la integración de dicha información para tener una base sólida y actualizada, con acceso irrestricto, que sirva como soporte para la toma de decisiones en las diferentes entidades privadas y de gobierno de manera tal que se puedan generar alertas oportunas y dar aviso a las comunidades amenazadas ante cualquier eventualidad ocasionada por un fenómeno natural. Dado que cada entidad maneja y publica su propia

¹Universidad Libre - Seccional Socorro, Santander, Colombia

²Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México

³Grupo de Investigación La Salada SENA Regional Antioquia, Colombia

información de manera independiente y los canales de comunicación seleccionados no están armonizados con el nivel de conocimiento, acceso y uso en la sociedad de las diversas estrategias tecnológicas, se genera una fractura en el proceso de comunicación impidiendo la correcta transmisión de la alerta generada.

Para ayudar en el cumplimiento del objetivo del Sistema Nacional para la Prevención del Riesgo de Desastres de Colombia (SNGRD) cuya principal función es “Fomentar la investigación, educación, comunicación y gestión del conocimiento, para una mayor conciencia del riesgo en Colombia”, es preciso difundir información que ayude a la población a estar prevenida ante la ocurrencia de una amenaza potencial. Para esto se debe acudir a los diversos medios de comunicación, entendidos según Macho (2013, p. 3) como *“una prolongación de las tecnologías de información que responden a nuevas necesidades de comunicación humana, suponiendo nuevas formas de transmitir y recibir información, que permiten nuevos procesos de producción”*. Una vez que una alerta es generada, se debe iniciar el proceso de comunicación el cual permitirá llegar hasta el individuo o colectivo social para que tome las medidas correspondientes en función del mensaje transmitido, este proceso comienza con la codificación, que se considera como el conjunto de procedimientos que realiza el transmisor del mensaje, transformando la alerta generada desde un lenguaje técnico o abstracto a un lenguaje adecuado, fácil de difundir y decodificar por el receptor, con el objetivo de incrementar el conocimiento del riesgo al que está expuesto, codificar un mensaje es la operación que permite pasar de un alfabeto fuente a un alfabeto código (Sanromán, 2004, p. 4).

Con el mensaje ya codificado, equiparado rápidamente con “lo que se transmite” (Restrepo, 1988, p. 3), se debe proceder al envío de la alerta, lo que involucra dos aspectos, en primer lugar, la difusión, consistente en propagar las alertas una vez codificadas por las diferentes entidades especializadas cuyo objetivo inmediato es llegar hasta una ubicación física o electrónica del usuario quien la deberá decodificar y procesar.

La intención es siempre la misma, dar a conocer lo que se sabe (Arturo Fernández Pedrero, 2013, p. 1) que para el caso de estudio significa un peligro potencial para la población. El segundo elemento necesario para el envío es el referente al canal de comunicación, variable por lo general asociada a los aspectos tecnológicos y que se entiende como el medio seleccionado para la difusión del mensaje codificado, su selección e implementación depende en gran medida de aspectos referentes a la tecnología más adecuada y cobertura de manera tal que se maximice el alcance del mensaje en la sociedad que necesita ser alertada como parte del gran campo de la comunicación pública (León Rivera - Betancur, 2011, p. 1).

Actualmente este aspecto es muy asociado a las tecnologías de la información y las comunicaciones y el correcto uso de estas, con las que se cierra -un poco- la brecha del acceso a información (Burbano & Efrain, 2015, p. 1). En este proceso se deben utilizar herramientas tecnológicas acordes a la codificación seleccionada y pueden ser medios tradicionales o digitales que en general se constituyen en un canal de comunicación, las redes, con Internet a la cabeza, están configurando un nuevo modelo de difusión pública de la información (Salaverría, 2003, p. 5).

Cuando el mensaje se difunde a través de un medio, la siguiente fase es la relacionada con el usuario y su capacidad para entenderlo, esto se define entonces como la decodificación, entendida como el proceso en que el receptor una vez recibido el mensaje mediante el canal de comunicación acordado interpreta los signos, gráficas u otros elementos seleccionados por el emisor para que active una reacción o respuesta en consonancia con la finalidad que el emisor pretende (Pozo Puértolas, Bouza, & Manuel, 2017, p. 3). Si la codificación se realizó para ser coherente con las capacidades tanto tecnológicas como semánticas y cognitivas del receptor, entonces el mensaje tendrá mayores probabilidades de completar la forma en que va desde su fuente hasta su destino (Silva Villena, 2005, p. 2). Una vez surtidas estas etapas y el individuo o colectivo social tienen acceso a la información, puede entonces iniciar otros procesos acordados al tiempo del mensaje recibido (pertinencia en tiempo de la alerta). La importancia de realizar una selección adecuada en el mecanismo de difusión y la selección del medio de comunicación más adecuado para lograr la mayor audiencia es un aspecto fundamental en cualquier sistema de alertas, ya que esta combinación de factores es la que garantiza que la comunidad potencialmente afectada disponga de información confiable, eficiente y oportuna para la toma de decisiones (Sánchez-Rentería, Bonilla-Escobar, Fandiño-Losada, & Gutiérrez-Martínez, 2016, p. 2) y pueda así proteger su vida y bienes.

Si el proceso de comunicación ha sido planeado cuidadosamente, el resultado debe verse reflejado en una comunidad informada ante cada fenómeno que pueda amenazarlo, para comprobar esta situación, en el desarrollo del estudio se obtuvo información a partir de una revisión detallada de los productos que generan los organismos que conforman el SNGRD así como de una entrevista estructurada (ver anexo 1) aplicada a 388 habitantes de zonas en riesgo de desastres (departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander en la zona norte de la región andina en Colombia). Las preguntas que rigen este trabajo de investigación son:

1. ¿El número de alertas encontradas para cada fenómeno natural es correspondiente con el porcentaje de eventos que afectan a la población en el área de estudio?
2. ¿Existe relación entre el porcentaje de alertas publicadas y el porcentaje promedio de acceso a los medios de comunicación por parte de la población?
3. ¿Existe relación entre el porcentaje de alertas publicadas y el porcentaje promedio de visualización de alertas en los medios de comunicación?

12.3. Desarrollo

12.3.1. Delimitación de la zona y población de estudio

La zona de estudio se encuentra en Colombia en el sector norte, conocido como Región Andina, donde se concentra un alto porcentaje de la población del país. Específicamente se trabajó en los departamentos denominados Boyacá, Norte de Santander y Santander, allí se encuentran algunos de los principales centros económicos y urbanos como Bucaramanga,

Cúcuta y Tunja entre otras. La población estimada para el año 2015 es de 4'669.675⁴ habitantes (ver Figura 1).



Figura 1 Región Andina de Colombia y área de estudio.

Fuente: Wikipedia, personalizado por los autores.

Para obtener información por parte de la sociedad, se aplicó una entrevista estructurada (ver anexo 1), la selección del tipo de instrumento obedeció a que fue la que se consideró más adecuada para la captura de información de la cual no se encontraron evidencias o estudios previos en las áreas específicas de conocimiento y uso de las alertas e información general como herramienta de prevención ante los fenómenos naturales, en estos casos es recomendable el uso de este tipo de herramientas para capturar información del problema tanto concreta como difusa del tema de investigación que se quiera tratar según lo expresa (Soriano, 1991, p. 75). La muestra se determinó en diversas etapas debido a las características propias de la población respecto a su dispersión geográfica y a que existen poblaciones más propensas a ser afectadas por uno o varios de los fenómenos naturales previamente documentados, por este motivo, la muestra obedece a las características de una población donde se ha evidenciado que ha ocurrido algunos de los fenómenos naturales previamente documentados o donde existen registros de personas con algún nivel de afectación.

⁴ Fuente: DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. Tomado de la dirección http://formularios.dane.gov.co/Anda_4_1/index.php/home

En una primera etapa se realizó un muestreo no probabilístico debido a que fue preciso determinar las limitantes en zonas donde hay evidencias que han sucedido desastres naturales anteriormente. El muestreo no probabilístico es también conocido como muestreo por conveniencia, y su único requisito es cumplir con la cuota del número requerido de sujetos o unidades de observación (Salinas Martínez, 2006, p. 3). A pesar de esta definición, se considera adecuada la técnica ya que el objetivo al aplicar el instrumento es establecer el nivel de conocimiento de la temática asociada al proyecto de investigación de una persona en cualquier parte de la zona de estudio, condición que cumplen todos los pobladores de la zona, pero se procura incrementar la eficacia del instrumento aplicándolo en aquellas zonas donde se ha determinado un mayor nivel de riesgo para la población.

Con base en la información histórica obtenida a partir de la base de datos del proyecto DESINVENTAR, se determinaron aquellos municipios donde se han presentado dichos fenómenos estableciendo la cantidad de eventos, así como el número de afectados, se seleccionaron aquellos municipios con mayor representatividad de las dos variables ya indicadas. La segunda etapa consistió en establecer el número de la muestra en general, se establece un nivel de confianza del 95% y un porcentaje de error de 5% (obteniendo un Z de 1,96 siguiendo una distribución normal) con lo cual se calcula la muestra total de la población en 385. En la tercera etapa se estableció para cada municipio la población estimada para 2015 (Fuente: DANE), posteriormente se calculó un primer valor para la muestra con base en el tamaño del estrato que es equivalente al porcentaje de la población que se seleccionó, dicho porcentaje, multiplicado por el valor de la población estimada para el año 2015 arroja un dato inicial sobre el tamaño de muestra requerido.

La cuarta etapa consistió en ajustar el tamaño de la muestra con base en la necesidad de optimizar el trabajo de campo dado que económicamente no es viable enviar encuestadores a municipios lejanos por un número de encuestas menor a 10 debido a los costos de desplazamiento y manutención requeridos, por este motivo se hizo una redistribución del dato original reduciéndolo en algunos casos e incrementando en otros para hacer viable el trabajo de campo. En la quinta y última etapa, sobre el número de muestra ajustada por municipio se optó por dividir la muestra de cada municipio en dos grupos, urbano (70%) y rural (30%), valores que se acercan a la distribución de la población según la ubicación de la residencia de la población en general. Con base en el Informe Nacional de Desarrollo Humano 2011 (ONU, 2011) cerca de 32 millones de colombianos, el 68,4% de la población, son habitantes urbanos, deduciendo así que un 31.6% de la población habita en un entorno rural. Cabe aclarar que no se utilizaron los valores exactos por la necesidad de obtener un número entero para las muestras de cada población, de esta manera se obtiene el total de muestras requeridas para los municipios en el sector urbano y rural.

En la siguiente (Tabla 1) se presentan los datos de la muestra por ciudad, a modo de resumen se indican las muestras por departamento:

- **Boyacá:** 110
- **Norte de Santander:** 115
- **Santander:** 160

Tabla 1 Determinación del tamaño de muestra por ciudad.

Ciudad	Departamento	Población	%	Muestra Base	Muestra Ajustada	Pob. Urbana	Pob. Rural
Tunja	Boyacá	188.380	8,01	30	25	17	8
Sogamoso	Boyacá	113.295	4,81	18	15	10	5
Villa de Leyva	Boyacá	16.478	0,70	2	10	7	3
Cómbita	Boyacá	14.632	0,62	2	10	7	3
Tibaná	Boyacá	9.186	0,39	1	10	7	3
Paipa	Boyacá	30.740	1,30	5	10	7	3
Garagoa	Boyacá	16.944	0,72	2	10	7	3
Tenza	Boyacá	4.112	0,17	0	10	7	3
Santana	Boyacá	7.692	0,32	1	10	7	3
Cúcuta	Norte de Santander	650.011	27,63	106	70	49	21
Los Patios	Norte de Santander	76.531	3,25	12	10	7	3
Ocaña	Norte de Santander	98.229	4,17	16	15	10	5
El Zulia	Norte de Santander	22.843	0,97	3	10	7	3
San Cayetano	Norte de Santander	5424	0,23	0	10	7	3
Bucaramanga	Santander	527.913	22,44	86	60	42	18
Barrancabermeja	Santander	191.768	8,15	31	20	14	6
Charalá	Santander	10.540	0,44	1	10	7	3
Simacota	Santander	7.789	0,33	1	10	7	3
Floridablanca	Santander	265.407	11,28	43	20	14	6
Puerto Wilches	Santander	31.511	1,34	5	10	7	3
Guadalupe	Santander	4.756	0,20	0	10	7	3
Rionegro	Santander	27.114	1,15	4	10	7	3
Socorro	Santander	30577	1,30	5	10	7	3
TOTAL		2.351.872	100	374	385	268	117

Fuente: Autores, información con base en indagación obtenida del Departamento Nacional de Planeación (DANE, Colombia).

Finalmente, se aplicaron 388 entrevistas siendo este número mayor al de la muestra propuesta inicialmente quedando su distribución de la siguiente manera:

Tabla 2 Número de entrevistas aplicadas por departamento.

Departamento	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido				
Boyacá	110	28,4	28,4	28,4
Norte de Santander	115	29,6	29,6	58,0
Santander	163	42,0	42,0	100,0
Total	388	100,0	100,0	

Fuente: Autores, información con base en los datos del estudio.

12.3.2. Limitantes políticas presente en el sistema

La información se estudió desde dos frentes, el primero analizando la política pública y estableciendo todos los fenómenos naturales que pueden potencialmente afectar a la población, el segundo, indagando acerca de las entidades que estudian o monitorean dichos fenómenos identificando todas las alertas que generan, así como el formato y medio de comunicación utilizado para la difusión.

Para determinar cuáles son las alertas que se generan en el área de estudio, en primer lugar, se realizó un inventario de los principales desastres naturales que se presentan, esta información se encuentra disponible en el Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (Corporación OSSO & UNISDR, 1994) la cual es una herramienta conceptual y metodológica para la construcción de bases de datos de pérdidas, daños o efectos ocasionados por emergencias o desastres. Respecto del tipo de eventos registrados, en la (Tabla 3) se presentan las frecuencias para la zona de estudio en el periodo 2000 - 2014.

Tabla 3 Fenómenos naturales con mayor número de afectados, periodo 2000-2014

Evento	Boyacá	Norte de Santander	Santander	Total general
Inundación	217255	184429	435840	837524
Sequía	244723		1443	246166
Deslizamiento	104044	61680	44681	210405
Vendaval	17824	5244	38239	61307
Avenida torrencial	17596	9630	2152	29378
Helada	11000			11000
Plaga	6000		2	6002
Alud	300	910	3500	4710
Incendio	110	714	3084	3908
Granizada	535	830	1980	3345
Colapso estructural	12	7	2259	2278
Sismo	850	35	525	1410
Incendio forestal	100	843	23	966
Lluvias	3	3	945	951
Tempestad		0	401	401
Explosión	323	17		340
Actividad volcánica	200			200
Erosión	0	85	1	86
Contaminación	25	2	2	29
Tormenta eléctrica	5	5	0	10
Escape	0	2	1	3
Biológico			2	2
Naufragio			1	1
Total general	620905	264436	535081	1420422

Fuente: Elaboración propia con base en datos de online.desinventar.org, marzo de 2015.

De la (Tabla 3) se puede observar que los 5 principales tipos de fenómenos naturales presentados son de mayor a menor nivel de afectados: inundación, sequía, deslizamiento, vendaval y avenida torrencial.

Para encontrar las alertas generadas en el Sistema de Gestión de Riesgos de Desastres, se identificaron las entidades de gobierno creadas con el objetivo de documentar permanentemente los fenómenos naturales que amenazan a la población, igualmente se revisaron detalladamente los diversos mensajes, documentos y otras acciones por medio de la cual dichas entidades difunden las alertas. Este trabajo se realizó mediante observación directa y búsqueda sistemática en los diversos medios de comunicación disponibles, encontrando que existen seis grupos de entidades que publican información, entre las que se encuentran: el Boletín Centralizado de Alertas del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres; el Portal de Pronósticos y Alertas del IDEAM; la página web de alertas públicas del Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres; el Sistema de Información de Movimientos en Masa Registrados en Colombia; el Servicio de Alertas de la Red Sismológica Nacional y un último grupo general que publica otras alertas (CLOPAD, CREPAD, Medios Televisivos, Radio, etc.).

Respecto de las alertas que cada una de las entidades gubernamentales genera, se partió del objetivo del gobierno, que plantea que *“el Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, en el marco de las políticas, estándares y tecnologías que definen la infraestructura colombiana de datos espaciales, deberá poner en marcha un sistema nacional de información para la gestión del riesgo de desastres, el cual debe mantenerse actualizado y funcional mediante la integración de contenidos de todas las entidades nacionales y territoriales, con el propósito de fomentar la generación y el uso de la información sobre el riesgo de desastres y su reducción y la respuesta a emergencias en el territorio nacional y ofrecer el apoyo de información que demandan los gestores del riesgo en todos los niveles de gobierno (...)”*. Con esta base se identificaron las diferentes alertas que se difunden, encontrando evidencias para cada uno de los fenómenos que afectan el área de estudio. En la (Tabla 4), se presenta la matriz que relaciona cada entidad con cada uno de los fenómenos naturales para los cuales se pudo evidenciar que se generan alertas.

Tabla 4 Alertas generadas versus tipo de evento registrado.

ALERTA DEL SISTEMA	TIPO DE EVENTO										
	Inundación	Deslizamiento	Incendio Forestal	Vendaval	Avenida Torrencial	Sequía	Lluvias	Tormenta Eléctrica	Sismo	Alud	Helada
Boletín Centralizado de Alertas del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres	X		X	X	X	X	X		X		X
Pronósticos y Alertas del IDEAM	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Alertas públicas del Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres	X	X	X			X	X				X
Información de Movimientos en Masa Registrados en Colombia		X								X	
Servicio de Alertas de la Red Sismológica Nacional									X		
Otras alertas (CLOPAD, CREPAD Medios Televisivos, Radio, etc.)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia con base en información de las alertas verificada en internet.

12.3.3. Medios y formatos utilizados para la difusión de alertas

En lo que se refiere a tecnologías de información con el potencial de proporcionar certidumbre a la contingencia de diversos sucesos, sin suprimir el riesgo propiamente dicho (Lorente, 2015, p. 14), existen diversos conceptos comunes utilizados en los mecanismos de divulgación del material generado por las entidades, entre estos medios se encuentran las páginas web, correos electrónicos, mensajes Puhs y por SMS, mapas digitales, etc. La revisión detallada de cada una de las alertas difundidas por cada entidad dejó ver que se utilizan diversos formatos para la difusión de información, pero como se observa en la (Tabla 5), los principales recursos utilizados en la generación de alertas son los textos e imágenes, siendo las animaciones el recurso menos utilizado.

Tabla 5 Tipo de recurso utilizado para la generación de alertas

ALERTA DEL SISTEMA	TIPO DE RECURSO				
	Texto	Audio	Imagen	Video	Animación
Boletín Centralizado de Alertas del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres	X		X		
Pronósticos y Alertas del IDEAM	X	X	X	X	X
Alertas públicas del Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres	X		X		
Información de Movimientos en Masa Registrados en Colombia	X		X		
Servicio de Alertas de la Red Sismológica Nacional	X		X		
Otras alertas (CLOPAD, CREPAD, Medios Televisivos, Radio, etc.)	X	X	X	X	

Fuente: Autores, con base en información de las alertas verificada en internet.

En la (Tabla 6) se observa que los medios de comunicación más utilizados en la difusión de alertas son los asociados a los de base tecnológica digital, específicamente a la publicación en internet y sus servicios asociados, seguidos de la televisión, la radio y la prensa escrita.

Tabla 6 Tipo de medio de comunicación utilizado para la difusión de alertas.

ALERTA DEL SISTEMA	TIPO DE MEDIO DE COMUNICACIÓN														
	Página Web	Servidor de Archivos	Base de Datos	Correo Electrónico	Imagen Digital	Documento Digital	Imagen Impresa	Documento Impreso	Mensaje SMS	Mensaje Push	Perifoneo	Charla	Radio	Televisión	Prensa Escrita
Boletín Centralizado de Alertas del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres	X	X	X	X	X									X	
Pronósticos y Alertas del IDEAM	X	X	X	X	X	X	X		X			X	X	X	X
Alertas públicas del Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres	X		X	X					X			X	X	X	X
Información de Movimientos en Masa Registrados en Colombia	X		X	X											
Servicio de Alertas de la Red Sismológica Nacional	X	X	X	X	X										
Otras alertas (CLOPAD, CREPAD, Medios Televisivos, Radio, etc.)	X											X	X	X	

Fuente: Autores, con base en información de las alertas verificada en internet.

12.3.4. Medios de comunicación por los cuáles la sociedad recibe efectivamente las alertas ante fenómenos naturales

En la entrevista estructurada, el grupo de preguntas número 3 se titula “Uso de Medios de Comunicación asociados con el conocimiento general sobre fenómenos naturales”, dentro del cual se encuentran las preguntas de control indicadas anteriormente. La información se analizó en los dos componentes (nivel de acceso al medio y visualización de alertas en el medio) de manera individual debido a la variación que se encuentran inherente por una variable interviniente que es la del interés de la comunidad en indagar acerca de la presencia de los fenómenos naturales que lo afectan, esto es, que tener acceso a un medio de comunicación no obliga al usuario a utilizarlo en referencia al tema de la investigación de manera específica, pero haber observado algún material asociado a la temática de estudio si implica que su uso fue motivado. En la (Tabla 7) se presenta la información obtenida a partir del procesamiento de la entrevista, la cual se utilizó como insumo para determinar la correlación entre el acceso a los medios y la visualización de las alertas.

Tabla 7 Porcentaje de acceso a los diversos medios de comunicación.

Variable		Recuento	% del N de columna
PAGINAS WEB	No tiene acceso	205	52,8%
	Si tiene acceso	183	47,2%
SERVIDOR DE ARCHIVOS	No tiene acceso	387	99,7%
	Si tiene acceso	1	0,3%
BASES DE DATOS	No tiene acceso	387	99,7%
	Si tiene acceso	1	0,3%
CORREO ELECTRONICO	No tiene acceso	235	60,6%
	Si tiene acceso	153	39,4%
MAPA O IMAGEN DIGITAL	No tiene acceso	377	97,2%
	Si tiene acceso	11	2,8%
MAPA O IMAGEN IMPRESA	No tiene acceso	380	97,9%
	Si tiene acceso	8	2,1%
REDES SOCIALES	No tiene acceso	156	40,2%
	Si tiene acceso	232	59,8%
DOCUMENTO DIGITAL	No tiene acceso	376	96,9%
	Si tiene acceso	12	3,1%
DOCUMENTO ESCRITO	No tiene acceso	383	98,7%
	Si tiene acceso	5	1,3%
MENSAJES SMS	No tiene acceso	310	79,9%
	Si tiene acceso	78	20,1%
MENSAJES PUSH	No tiene acceso	388	100,0%
	Si tiene acceso	0	0,0%
PERIFONEO	No tiene acceso	388	100,0%
	Si tiene acceso	0	0,0%
CHARLA	No tiene acceso	383	98,7%
	Si tiene acceso	5	1,3%
RADIO AM-FM	No tiene acceso	87	22,4%
	Si tiene acceso	301	77,6%
TELEVISION ABIERTA	No tiene acceso	230	59,3%
	Si tiene acceso	158	40,7%
TELEVISION POR CABLE	No tiene acceso	179	46,1%
	Si tiene acceso	209	53,9%
PRENSA ESCRITA	No tiene acceso	236	60,8%
	Si tiene acceso	152	39,2%
RADIO AFICIONADO	No tiene acceso	387	99,7%
	Si tiene acceso	1	0,3%

Fuente: Autores, con base en los datos del estudio.

A continuación, en la (Tabla 8), se presenta la información para la variable asociada a la visualización de información de fenómenos naturales en diferentes medios de comunicación.

Tabla 8 Porcentaje de visualización de información de fenómenos naturales en los medios de comunicación.

	Variable	Recuento	% del N de columna
PAGINAS WEB	No ha observado material	241	62,1%
	Si ha observado material	147	37,9%
SERVIDOR DE ARCHIVOS	No ha observado material	388	100,0%
	Si ha observado material	0	0,0%
BASES DE DATOS	No ha observado material	386	99,5%
	Si ha observado material	2	0,5%
CORREO ELECTRÓNICO	No ha observado material	363	93,6%
	Si ha observado material	25	6,4%
MAPA O IMAGEN DIGITAL	No ha observado material	384	99,0%
	Si ha observado material	4	1,0%
MAPA O IMAGEN IMPRESA	No ha observado material	386	99,5%
	Si ha observado material	2	0,5%
REDES SOCIALES	No ha observado material	285	73,5%
	Si ha observado material	103	26,5%
DOCUMENTO DIGITAL	No ha observado material	387	99,7%
	Si ha observado material	1	0,3%
DOCUMENTO ESCRITO	No ha observado material	388	100,0%
	Si ha observado material	0	0,0%
MENSAJES SMS	No ha observado material	388	100,0%
	Si ha observado material	0	0,0%
MENSAJES PUSH	No ha observado material	387	99,7%
	Si ha observado material	1	0,3%
PERIFONEO	No ha observado material	387	99,7%
	Si ha observado material	1	0,3%
CHARLA	No ha observado material	383	98,7%
	Si ha observado material	5	1,3%
RADIO AM-FM	No ha observado material	241	62,1%
	Si ha observado material	147	37,9%
TELEVISION ABIERTA	No ha observado material	304	78,4%
	Si ha observado material	84	21,6%
TELEVISION POR CABLE	No ha observado material	230	59,3%
	Si ha observado material	158	40,7%
PRENSA ESCRITA	No ha observado material	272	70,1%
	Si ha observado material	116	29,9%
RADIO AFICIONADO	No ha observado material	387	99,7%
	Si ha observado material	1	0,3%

Fuente: Autores, con base en los datos del estudio.

Para poder establecer los canales de comunicación utilizados para difundir las alertas generadas en el sistema se estableció, en primer lugar, cuáles son los medios de comunicación utilizados por las entidades del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres, esta información se comparó con las dos variables que indican si la sociedad tiene acceso a cada tipo de medio y si en estos ha observado algún tipo de material que lo ayude a estar prevenido ante la amenaza de un fenómeno natural.

En la (Tabla 9) se observan los valores que resumen la información necesaria para la validación de la correlación propuesta.

Tabla 9 Consolidado de alertas encontradas, porcentaje de acceso y uso de medios de comunicación.

MEDIO DE COMUNICACIÓN	NÚMERO DE ALERTAS ENCONTRADAS	PORCENTAJE DE ALERTAS PUBLICADAS POR MEDIO	PORCENTAJE DE POBLACIÓN CON ACCESO AL MEDIO	PORCENTAJE DE POBLACIÓN QUE HA OBSERVADO INFORMACIÓN EN EL MEDIO	MEDIO DE BASE TECNOLÓGICA
Página Web	6	100,0	47,2	37,9	Si
Servidor de Archivos	3	50,0	0,3	0	Si
Base de Datos	5	83,3	0,3	0,5	Si
Correo Electrónico	0	0,0	39,4	6,4	Si
Imagen Digital	5	83,3	2,8	1	Si
Documento Digital	3	50,0	3,1	0,3	Si
Imagen Impresa	1	16,7	2,1	0,5	No
Documento Impreso	1	16,7	1,3	0	No
Mensaje SMS	0	0,0	20,1	0	Si
Mensaje Push	2	33,3	0	0,3	Si
Perifoneo	0	0,0	0	0,3	No
Charla	0	0,0	1,3	1,3	No
Radio	3	50,0	77,6	37,9	Si
Televisión Abierta	4	66,7	40,7	21,6	Si
Televisión por Cable	4	66,7	53,9	40,7	Si
Prensa Escrita	3	50,0	39,2	29,9	No

Fuente: Autores, con base en los datos del estudio.

Para establecer la relación entre las variables propuestas, se realizó una prueba no paramétrica (rangos de signos de Wilcoxon) debido a que el tamaño de los datos a analizar es pequeño (menor de 30), se realizaron dos pruebas por separado para validar la dependencia entre el número de alertas emitidas en cada medio de comunicación respecto del nivel de acceso, así como de observación de alertas. Se partió de las hipótesis nulas (independencia entre las variables ya que se busca establecer una correlación) que proponen lo siguiente:

1. No existe relación ente el número de alertas encontradas en el SNGRD respecto del porcentaje de fenómenos naturales que afectan a la población en el área de estudio
2. No existe relación entre el porcentaje de alertas publicadas y el porcentaje promedio de acceso a los medios de comunicación.
3. No existe relación entre el porcentaje de alertas publicadas y el porcentaje promedio de visualización de alertas en los medios de comunicación.

12.4. Resultados y Discusiones

El aporte de esta investigación presenta la situación de la sociedad en lo referente a su capacidad para recibir las alertas generadas y transmitidas desde el SNGRD que la ayudan a reducir su nivel de vulnerabilidad ante los fenómenos naturales y a partir de ahí, adoptar o proponer planes de mejora que garanticen mayor acceso a información que le permita protegerse de las amenazas de su entorno y así actuar en consecuencia, reduciendo las posibilidades de afectaciones en los componentes sociales y económicos procurándole más oportunidades para su desarrollo y sostenibilidad.

Igualmente, podrá ser un insumo útil que ayude a mejorar los sistemas de difusión de información pública sensible, el cual es un tema en el que debe profundizarse, ya que hacer un adecuado uso de los diversos canales de información existentes en función de las limitantes de la sociedad, es un criterio que debe ser tenido en cuenta, ya que por ejemplo, la sola acción de “subir un archivo” en cualquier formato y hacerlo público en internet no puede entrar en la definición de divulgación masiva si la población objetivo no cuenta ni con recursos económicos, ni con las competencias para encontrar la información o tiene limitaciones físicas que le impiden acceder al material en cuestión. Se hace necesario entonces armonizar los referentes tecnológicos con el estado de la sociedad para que el acceso a la información sea eficaz, teniendo presente que los aportes sugeridos han de involucrar diversos aspectos que van desde la misma codificación del mensaje hasta la recepción y decodificación.

12.4.1. Sobre las alertas generadas por las entidades del Sistema de Gestión de Riesgo de Desastres

En lo que hace referencia a la verificación de las políticas de gobierno en las que debe comprobarse que cada uno de los fenómenos naturales que puede potencialmente afectar a la sociedad es estudiado y monitoreado, además que se generan y difunden alertas que ayuden en el conocimiento del riesgo y por consiguiente en la reducción de la vulnerabilidad, en la (Tabla 10), se presenta el consolidado de la información recolectada

Tabla 10 Número de alertas encontradas por fenómeno.

FENÓMENO NATURAL	PORCENTAJE DE EVENTOS	NÚMERO DE ALERTAS ENCONTRADAS
Inundación	37,3	4
Deslizamiento	22,7	4
Incendio Forestal	18,2	4
Vendaval	7,8	3
Avenida Torrencial	2	3
Sequía	1,8	4
Lluvias	0,6	4
Tormenta Eléctrica	0,5	2
Sismo	0,4	3
Alud	0,2	3
Helada	0,2	4

Fuente: Autores, con base en los datos del estudio.

Tabla 11 Prueba de rangos de signos de Wilcoxon para muestras relacionadas.

	Porcentaje de Eventos - Número de Alertas
Z	-,445 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,657

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon
b. Se basa en rangos negativos.

Fuente: Autores, utilizando IBM SPSS Statistics v23.

La prueba de rangos de signos de Wilcoxon se aplicó sobre las variables indicadas utilizando el software IBM SPSS Statistics v23. Como se observa en la Tabla 11), la significancia (p-valor) es mayor a 0,05 (0,657>0,05), por lo cual se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula afirmando entonces que el número de alertas encontradas para cada fenómeno natural no corresponde con el porcentaje de eventos que se presentan en el área de estudio.

Se considera necesario hacer una revisión de los procesos involucrados en la gestión (pública) de la información susceptible de ser difundida como alerta por parte del SNGRD, es conveniente revisar por qué no son más las alertas que se generan para los fenómenos naturales con mayor frecuencia de aparición o con más nivel de afectación en la sociedad ya que son los integrantes de ésta los principales beneficiarios del producto generado con valor público común (Palacio, 2016, p. 6). Por otra parte, partiendo de la posibilidad de generar alertas de fuentes diversas y no sólo del monitoreo de fenómenos naturales, sino de casos relacionados o metodologías planteadas en diversas áreas de la ciencia, como lo plantean, por ejemplo, Mora-Ortiz & Rojas-González, (2012, p. 13) indicando que *“Así mediante el monitoreo de los taludes en la épocas de lluvia y con la aplicación del procedimiento descrito en esta investigación se podrán tomar las medidas necesarias para emitir oportunamente avisos de peligro a la población”*, e igualmente Gallegos-Fonseca, Leal-Vaca, Rojas-González, & Mora-Ortiz (2012, p. 10) arguyendo que *“Para evitar que los taludes se humedezcan y lleguen a deslizarse es posible tomar medidas preventivas, por ejemplo, es posible colocar drenes y contracunetas que eviten al máximo el escurrimiento e infiltración de agua hacia el cuerpo del talud”*, o también Huerta-Loera & Domínguez-Mora (2016, p. 11) indican que *“El procedimiento propuesto, que considera los diversos niveles iniciales en el embalse, permite una estimación más precisa del riesgo de inundación aguas abajo de la presa, mientras que el procedimiento tradicional (considerando un nivel inicial a la cota del NAMO) sobrestima los costos del daño por inundación”*, estas, entre otras referencias, dejan ver que las fuentes para recopilación de insumos para generar alertas son bastante extensas y que existen diversos estudios y técnicas implementadas con las que puede crear la información preventiva, de tal forma que la reducción de la vulnerabilidad podría lograrse atacando la problemática desde el tema asociado a la optimización de la comunicación, esto es a la correcta generación, codificación y difusión de los mensajes por parte del SNGRD y a la creación/formación de un ciudadano cuestionador y creativo (Alvarado, 2012, p. 3) preocupado por la información que ofrece el sistema.

12.4.2. Determinación de la relación entre el porcentaje de alertas publicadas y el porcentaje promedio de acceso a los medios de comunicación y visualización de alertas en los mismos.

En lo referente a la difusión de alertas, de la (Tabla 7), se obtuvo un promedio general y se establece que un 78.36% de la población manifiesta no tener acceso a los medios de comunicación en general y se deduce que un 21.64% sí lo tiene. Estos valores, sin embargo, no pueden interpretarse como concluyentes ya que comparando con otra pregunta de control como por ejemplo del grupo 5 de la entrevista aplicada, el número 38, que indaga acerca del tipo de teléfono celular del entrevistado, se obtuvo un nivel de respuesta superior al 90%, por lo que está garantizado el acceso a la recepción de los mensajes Push y mensajes cortos de texto (SMS). En este caso se atribuye la respuesta a desconocimiento de los servicios a los que efectivamente tiene acceso el usuario por lo que posiblemente se asocia esta problemática a algún tipo de limitante académica en la que el usuario no domina completamente la tecnología a la que tiene acceso y por consiguiente surge otra propuesta de mejora en el sistema asociado a la necesidad de capacitar a la población en el uso de herramientas tecnológicas lo que supone a ayudar a crear pensamiento (y habilidades) útil en los usuarios (Torras, Prieto, & Centellas, 2010, p. 6).

De la (Tabla 8), puede deducirse que en promedio el 88.58% de la población entrevistada no ha observado ningún material asociado a la temática de los fenómenos naturales mientras que un 11.42% sí lo ha hecho, de esta afirmación surgen algunas inquietudes acerca de si es necesario que cada integrante de la comunidad amenazada deba acceder permanentemente a un sistema unificado de alertas y obtener allí la información adecuada, sin embargo, hay situaciones como las plantean Galván-Bobadilla, Santos-Domínguez, & Pérez-Díaz, (2010, p. 7) manifestando que *“Hay algunos escenarios en los que la información se genera de manera aleatoria, imprevisible o inesperada, por ejemplo, un terremoto, un fallo en una central eléctrica, el aumento o decremento de subastas, etc. En este tipo de escenarios, por evento, se utiliza el modo de monitorización”*, propuesta que deja clara la necesidad de informar a la comunidad mediante algún mecanismo que no lo obligue a acceder a información centralizada sino que sea el ciudadano al que se le informe desde un sistema central, situación que difiere de la propuesta actual en la que el usuario debe acceder a un portal único para poder ser informado y completar el proceso de comunicación tal como lo sugiere Galera et al (2015, p. 1) cuando mencionan que *“Las páginas web son en este mundo globalizado e informatizado un medio de comunicación adecuado y accesible”*, situación que en otros países con condiciones sociales mejores a las de Colombia puede ser efectiva.

En las figuras siguientes se presentan los resultados de la prueba utilizando el software IBM SPSS Statistics v23.

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Porcentaje de Alertas Publicadas por Medio y Porcentaje de Acceso al Medio de Comunicación es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,062	Conserve la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

Figura 2 Resultado de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para las variables Número de Alertas y Porcentaje de Acceso al Medio de Comunicación.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software IBM SPSS Statistics v23.

Como se observa en la (Figura 2), la significancia (p-valor) es mayor a 0,05, por lo cual se acepta la hipótesis nula afirmando entonces que no existe relación entre el porcentaje de alertas publicadas y el porcentaje promedio de acceso a los medios de comunicación de base tecnológica. Aceptar esta hipótesis nula implica tener que hacer una crítica de fondo a la política de selección de los medios de difusión en los cuales se difunden las alertas ya que no se ha tenido en cuenta las diferentes limitantes que tiene la sociedad para el acceso a dichos medios, si bien existen algunos que tienen una cobertura masiva como la televisión, la radio o WebChats, implica que necesariamente exista un diálogo sincrónico (del Rocío Ruiz Méndez & Aguirre Aguilar, 2015, p. 19) entre el mensaje y el interlocutor, con esto, es posible proponer entonces que el medio de mayor cobertura no es necesariamente el más efectivo y el SNGRD debería por lo tanto revisar su propuesta de comunicación, idea que no es nueva, tal como lo indican Baas, Ramasamy, & Dey de Pryck, (2009, p. 27) cuando propusieron -entre otras- la transversalidad de algunas actividades asociadas como son “*Evaluar los mecanismos y canales de comunicación, planificación de la GRD en y entre las instituciones, flujo de mensajes de alerta temprana, intercambio técnico y de colaboración, coordinación e implementación en distintas fases de la GRD, estrategias de concientización*”.

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Porcentaje de Alertas Publicadas por Medio y Porcentaje de Visualización de Alertas en el Medio es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,007	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

Figura 3 Resultado de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para las variables Número de Alertas y Porcentaje de Visualización de Aletas en los Medios de Comunicación.

Fuente: Elaboración propia utilizando el software IBM SPSS Statistics v23.

En la (Figura 3), la significancia es menor a 0,05 ($0,007 < 0,05$), por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta que, sí existe relación entre el porcentaje de alertas publicadas y el porcentaje promedio de visualización de alertas en los medios de comunicación de base tecnológica, en este caso se está validando que la población que tiene acceso al medio de comunicación tiene entonces también una probabilidad alta de encontrar la alerta.

Persiste sin embargo la crítica en los medios seleccionados ya que para garantizar que la sociedad reduzca su vulnerabilidad debe utilizarse un medio de comunicación de fácil acceso, confiable y que no implique relaciones sincrónicas con el usuario en el instante que requiera generarse el proceso de comunicación, caso que expone ya (Baas et al., 2009, p. 6) cuando indican que *“Las acciones de la GRD en la fase pre-desastre apuntan a fortalecer las capacidades y la resiliencia de los hogares y comunidades para proteger sus vidas y sus medios de vida, a través de medidas para evitar (prevención) o limitar (mitigación) los efectos adversos de las amenazas y para proporcionar sistemas de alerta temprana de amenazas que sean oportunos y confiables”*.

12.5. Conclusiones

Una vez que se han podido realizar todas las correlaciones con el fin de establecer la pertinencia de las acciones generales del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres en Colombia en lo que se refiere a la difusión de alertas ante fenómenos naturales, se ha determinado que el sistema presenta algunas fallas en el diseño del proceso de comunicación que ha propuesto, estas fallas están asociadas a la poca cantidad de alertas difundidas así como a los medios de comunicación seleccionados al no poder garantizar que la sociedad amenazada cuente con los recursos necesarios para su acceso. Los principales puntos encontrados se presentan a continuación:

1. Se encontró que todos los eventos presentados en la zona de estudio son monitoreados y su información difundida por diversas entidades del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, pero no se encuentra una relación entre el número de alertas que se generan por fenómenos naturales respecto del porcentaje de eventos que están afectando a la población. Se concluye entonces que no existe una correlación entre cuántas alertas se generan en el sistema respecto del número de eventos registrados situación que supone un incremento en el riesgo de la población por desconocimiento de la información preventiva.
2. Dado que se ha establecido que no hay una relación entre el número de alertas publicadas por las entidades del Sistema de Gestión de Riesgo y el acceso a los diversos medios de comunicación de base tecnológica, puede inferirse que la sola actividad de generar y publicar información a modo de alertas no garantiza que la sociedad se apropie del conocimiento que le ayudaría a reducir su nivel de vulnerabilidad.
3. Como se ha aceptado que sí existe relación entre el número de alertas publicadas por las entidades del Sistema de Gestión de Riesgo y el porcentaje promedio de visualización de alertas en los medios de comunicación de base tecnológica, la conclusión lógica es que la visualización de la información que ayuda a la sociedad en la reducción de la vulnerabilidad ante los fenómenos naturales se encuentra intervenida por otra(s) variable(s) que permite(n) que se logre el objetivo de la comunicación. Algunas alternativas asociadas a las limitantes que cobijan este planteamiento pueden ser las académicas en el caso del nivel de estudio de la población o las económicas en los casos de posibilidades tanto de formación como de acceso a medios de comunicación. Se considera conveniente entonces profundizar más en establecer cuáles son las limitantes que impiden que la sociedad sea alertada de manera ágil y oportuna.
4. La información que se presenta en las alertas generadas tiene una cobertura geográfica muy extensa, en general se observan imágenes o documentos que cubren todo el país o en el mejor de los casos el nivel municipal completo, esto hace que, para un usuario no experto en temas geográficos, es decir, que no sepa identificar la ubicación de su residencia sobre un mapa sea imposible obtener información específica de los riesgos a los que está expuesto. Por otra parte, los documentos

encontrados no facilitan la apropiación de la información debido a la escala a la que se realizan, es por esto que una alternativa de mejora debe involucrar nuevos aspectos tecnológicos tales como las geocercas asociadas a la mensajería masiva de mensajes por broadcasting.

5. Los medios de comunicación de base tecnológica con mayor porcentaje de acceso en su respectivo orden son la radio, la televisión y las tecnologías más asociadas al uso de internet (páginas web y correo electrónico), igual sucede con el porcentaje de visualización de alertas en estos medios. El medio de comunicación no asociado a tecnología que mayor porcentaje de acceso y uso presenta es la prensa escrita.
6. Cada formato presenta ventajas y desventajas para su uso potencial en el proceso de comunicación, en el caso de los **textos**, las ventajas de este tipo de formatos es su facilidad de generación y la multiplicidad de aplicaciones que las soportan. Las dificultades para su uso radican principalmente en que la codificación del mensaje requiere el uso del mismo idioma tanto del transmisor como del receptor; por su parte los **audios** igualmente cuentan con la dependencia del idioma común, así como de parámetros adicionales como el lenguaje y significado de las palabras utilizadas en función de la región geográfica donde se reciba el mensaje, este formato puede ser grabado por el transmisor del mensaje o convertido a partir de un texto. Su facilidad de uso radica en la facilidad de decodificar el mensaje por parte del receptor.
7. Respecto de las alertas en formatos gráficos, las **imágenes**, son tal vez una de las mayores herramientas en la transmisión de alertas debido a que permite con facilidad su decodificación. Las limitantes principales radican en que requieren de una correcta codificación utilizando los conceptos fundamentales de la señalética para la correcta transmisión de información utilizando símbolos y colores adecuados que el cerebro pueda interpretar fácilmente. En lo que respecta a los **videos**, su principal ventaja radica en la fácil decodificación (con la limitante del idioma de codificación) que permite la difusión de alertas complejas que requieran un mayor nivel de decodificación por parte del receptor. Por último, las **animaciones** tienen mucha relación con el formato de video dada a implicación de unificar diversos recursos, por ejemplo, imágenes con texto, o texto con imágenes, la diferencia radica principalmente en que las animaciones normalmente permiten algún tipo mínimo de interacción con el usuario.

12.6. Referencias Bibliográficas

- Alvarado, M. (2012). Lectura crítica de medios: una propuesta metodológica. *Critical Reading of Media: A Methodological Proposal.*, 20(39), 101-108. <https://doi.org/10.3916/C39-2012-02-10>
- Arturo Fernández Pedrero, J. (2013). La importancia de la difusión. *Revista Mexicana de Ortodoncia*, 1(1), 6. [https://doi.org/10.1016/S2395-9215\(16\)30001-0](https://doi.org/10.1016/S2395-9215(16)30001-0)
- Baas, S., Ramasamy, S., & Dey de Pryck, J. (2009). *Análisis de sistemas de gestión del riesgo de desastres: una guía*. Roma, IT: D - FAO. Recuperado a partir de <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10624440>
- Burbano, R., & Efrain, J. (2015). Sistema de información geográfica para dispositivos móviles como herramienta de difusión de alertas de amenazas y riesgos naturales para el municipio de La Vega, departamento de Cundinamarca. *Administración Municipal De La Vega. (15 de agosto de 2013)*. <http://www.lavega-cundinamarca.gov.co>. Recuperado el 9 de marzo de 2015, de http://www.lavega-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml#historia. Recuperado a partir de <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/6572>
- Corporación OSSO, & UNISDR. (1994). DesInventar Project - Official Website [Base de Datos]. Recuperado el 13 de agosto de 2017, a partir de <http://www.desinventar.org/es/database> del Rocío Ruiz Méndez, M., & Aguirre Aguilar, G. (2015). Etnografía virtual, un acercamiento al método y a sus aplicaciones. *Virtual Ethnography, an Approach to the Method and its Applications.*, 21(41), 67-96.
- Galera, A. N., Valencia, P. T., Lozano, M. R., & Berjillos, A. de los R. (2015). Divulgación de información sobre responsabilidad social de los gobiernos locales europeos: El caso de los países nórdicos. *Gestión y Política Pública*, 24(1), 229-269.
- Gallegos-Fonseca, G., Leal-Vaca, J. C., Rojas-González, E., & Mora-Ortiz, R. S. (2012). Efecto de la succión en la estabilidad de un talud de arena limosa. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 13(3), 271-281.
- Galván-Bobadilla, I., Santos-Domínguez, M., & Pérez-Díaz, J. A. (2010). Generic Model to Send Secure Alerts for Utility Companies. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, XI (2), 217-231.
- Huerta-Loera, S. F., & Domínguez-Mora, R. (2016). Metodología para la estimación del riesgo aguas abajo de una presa en función de las políticas de operación a largo plazo. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, XVII (3), 343-356. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.005>

- Lorente, J. I. (2015). Información de actualidad, divulgación científica y discurso del riesgo. *Amnis. Revue de civilisation contemporaine Europes/Amériques*, (14). <https://doi.org/10.4000/amnis.2489>
- Macho, D. G. (2013). La calidad de una página web como herramienta de comunicación. *Estudios sobre el mensaje periodístico*, (19), 253-261.
- Mora-Ortiz, R. S., & Rojas-González, E. (2012). Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas. *Ingeniería. Investigación y Tecnología, XIII* (1), 55-68.
- ONU. (2011). *Informe Nacional de Desarrollo Humano 2011*. ONU. Recuperado a partir de http://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/library/human_development/informe-nacional-de-desarrollo-humano-2011.html
- Palacio, M. E. G. (2016). La privatización de las telecomunicaciones en Colombia: El rol de las empresas públicas en el nuevo marco institucional /The Privatization of Telecommunications in Colombia: The role of Public Companies in the New Institutional Framework. *Gestión y Política Pública*, 25(1), 81-117.
- Pozo Puértolas, R., Bouza, M., & Manuel, J. (2017). Comunicación técnica: *Grafica*, 5(10), 0125-131. <https://doi.org/10.5565/rev/grafica.77>
- Restrepo, M. (1988). El mensaje: Categoría de comunicación. *Signo y Pensamiento*, 7(12), 5-10.
- Salaverría, R. (Ramón). (2003). Herramientas digitales para la gestión y difusión de información. Recuperado a partir de <http://dadun.unav.edu/handle/10171/5104>
- Salinas Martínez, A. M. (2006). Tema 4: métodos de muestreo. Recuperado a partir de <http://site.ebrary.com/lib/bibliounilibresp/docDetail.action?docID=10115095>
- Sánchez-Rentería, G., Bonilla-Escobar, F. J., Fandiño-Losada, A., & Gutiérrez-Martínez, M. I. (2016). Observatorios de Convivencia y Seguridad Ciudadana: Herramientas para la toma de decisiones y gobernabilidad. *CITIZEN SECURITY OBSERVATORIES: TOOLS FOR DECISION MAKING AND GOVERNABILITY. (English)*, 33(2), 362-367. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.332.2203>
- Sanromán, G. (2004). Estrategias de decodificación. Presentado en X Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/10915/22493>
- Silva Villena, O. (2005). What is the new course of psycholinguistics? *Forma y Función*, (18), 229-249.

Soriano, R. R. (1991). *Guía para realizar investigaciones sociales*. Plaza y Valdes.

Torras, F. Z., Prieto, E. Q., & Centellas, M. C. P. (2010). Capacitar para decidir. (Spanish). *AMF: Actualización en Medicina de Familia*, 6(8), 420-428.

**Un camino a la sustentabilidad ambiental:
Perspectiva de la Educación y la Ingeniería**

Se terminó de editar en diciembre de 2020.

Las fuentes tipográficas empleadas son Trebuchet MS 11 puntos en texto corrido,
Trebuchet MS (Bold) 12 puntos en subtítulos y
Trebuchet MS (Bold) 16 puntos en títulos.

Autoras compiladoras

Sandra Liliana Cristancho Cruz

Docente de planta Jornada Completa

Investigadora, Líder Grupo de Investigación GIECEUL

Facultad Ciencias de la Educación, Universidad Libre Seccional Socorro

Leila Nayibe Ramírez Castañeda

Docente Jornada Completa

Investigadora grupo CINDES

Ingeniería Industrial, Universidad Libre Seccional Bogotá

Otros Autores

Maria del Pilar Guaque Torres

Docente Jornada Completa

Investigador Grupo GIAM-Z

Programa Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Seccional Socorro

Cesar Augusto Alba Rojas

Docente Media Jornada

Facultad Ciencias de la Educación, Universidad Libre Seccional Socorro

Edgar Quintanilla Piña

Paola Andrea Celis Rivera

Olith Antonio Ardila Jaimes

Antonio Sierra Ferreira

Profesionales de la Ingeniería y Educación Ambiental

Docentes externos

Integrantes Semillero de Investigación SIEGEA

Grupo de Investigación GIECEUL, Universidad Libre Seccional Socorro

Sandra Milena Tique Martínez

Yurley Katherine Aleman

Luisa Fernanda Alarcon Huerfano

Silvia Estela Gómez Correa

Sindy Paola Castro Pereira

Yorelis Katherine Carreño Vega

Claudia R. Corredor Rodríguez

Jessica Johanna Maldonado Ortiz

Yensy Milena Parra