

Alternativas de sostenibilidad ambiental

para comunidades en el departamento de Córdoba

Jorge Villadiego Lorduy
Compilador



Universidad
Pontificia
Bolivariana

Autores

Hugo Villadiego Martínez
Gustavo González Carvajal
Fernando Ramírez Muñoz
Tomás Ramón Florville
Jorge Villadiego Lorduy
Lilibeth Montes Cruz
Sergio Galeano Vargas
Javier Sánchez Castillo
Stalyn Guerrero Gómez
Duberney Londoño Hernández
Julio César Anaya Peña
Pedro Luis Payares Ramos
Ómar Díaz Hernández
Saidy Pérez Hoyos
María Beatriz Jiménez Ruiz
Andrea Ávila Fuentes
Natalia García Corrales
Yhonattan Méndez Nobles
Tulia Gómez Márquez
Johana Rodiño Argüello
Kevin Rodríguez González
Adolfo Cortecero Bossio
Nubia Garzón Barrero
Iván Sepúlveda Calderín
Julio Hernández González
Rubén Sepúlveda Vargas
Humberto Tejada Bustos
Daniel Espinosa Corrales
Carlos Wilches Bonilla
Óscar Jiménez Calderín
Juan Salvador Peña







Alternativas de sostenibilidad ambiental

para comunidades en el departamento de Córdoba

Jorge Villadiego Lorduy
Compilador



338.162
A466

Villadiego Lorduy, Jorge, compilador
Alternativas de sostenibilidad ambiental para comunidades en el departamento de Córdoba /
Jorge Villadiego Lorduy – 1 edición – Medellín: UPB, 2020.
145 páginas, 16.5x23.5 cm.

ISBN: 978-958-764-908-6 (Versión digital)

1. Sostenibilidad ambiental -- Córdoba (Colombia) -- 2. Agroecología -- Córdoba
(Colombia) -- I. Título

CO-MdUPB / spa / rda
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Autores varios

© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana

Vigilada Mineducación

Alternativas de sostenibilidad ambiental para comunidades en el departamento de Córdoba

ISBN: 978-958-764-908-6 (versión digital)

DOI: <http://doi.org/10.18566/978-958-764-908-6>

Primera edición, 2020

Escuela de Ingenierías y Arquitectura

Grupo de Investigación en Calidad de aguas, modelamiento hídrico y ambiental, CAMHA.

Environment & Technology Foundation. Grupo de Investigación: Gestión ambiental. Proyecto: Acciones para la gestión y la sostenibilidad ambiental territorial: Casos del departamento de Córdoba y la región Caribe.

Arzobispo de Medellín y Gran Canciller UPB: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

Rector Seccional Montería: Pbro. Jorge Alonso Bedoya Vásquez

Vicerrector Académico Sede Medellín: Álvaro Gómez Fernández

Vicerrector Académico Seccional Montería: Roger Góez Gutiérrez

Editor: Juan Carlos Rodas Montoya

Gestora Editorial Seccional Montería: Flora del Pilar Fernández Ortega

Coordinación de Producción: Ana Milena Gómez Correa

Diseño y diagramación: Ana Mercedes Ruiz Mejía

Imagen portada: Pixabay

Corrección de Estilo: Delio David Arango

Dirección Editorial:

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2020

Correo electrónico: editorial@upb.edu.co

www.upb.edu.co

Telefax: (57)(4) 354 4565

A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 2011-03-08-20

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Tabla de contenido

Presentación	13
--------------	----

Javier Sánchez Castillo y Jorge Villadiego Lorduy

Capítulo 1.

Uso de trinchos para recuperación de suelos: caso finca

Villa Elena, Montería	17
-----------------------	----

Hugo Villadiego Martínez, Gustavo González Carvajal,

Fernando Ramírez Muñoz, Tomás Ramón Florville, Pedro Payares Ramos,

Jorge Villadiego Lorduy

1.1 Introducción	19
------------------	----

1.2 Marco teórico	20
-------------------	----

1.2.1 El recurso suelo y la erosión	20
-------------------------------------	----

1.2.2 Obras de bioingeniería	21
------------------------------	----

1.3 Metodología	22
-----------------	----

1.4 Resultados y discusión	23
----------------------------	----

1.4.1 Área de estudio	23
-----------------------	----

1.4.2 Caracterización fisicobiótica	23
-------------------------------------	----

1.4.3 Implementación de estructuras de bioingeniería	26
--	----

1.4.4 Comportamiento de la estructura tipo de trincho	28
---	----

1.5 Conclusiones	32
------------------	----

Referencias	33
-------------	----

Capítulo 2.

Agricultura climáticamente inteligente: caso de estudio

corregimiento Retiro de Los Indios, Cereté, Colombia	35
--	----

Lilibeth Montes Cruz, Sergio Galeano Vargas, Javier Sánchez Castillo,

Jorge Villadiego Lorduy, Stalyn Guerrero Gómez

2.1 Introducción	36
------------------	----

2.2 Marco teórico	39
-------------------	----

2.3 Metodología	41
2.4 Resultados y discusión	42
2.4.1 Área de estudio	42
2.4.2 Evidencia de alteraciones de precipitación	42
2.4.3 Actividad agrícola predominante	44
2.4.4 Medidas de adaptación: reconocimiento desde la percepción del pequeño agricultor	45
2.4.5 Propuesta con un enfoque de prácticas climáticamente inteligentes: camellones	47
2.4.6 Mantenimiento y operación	48
2.4.7 Sustentabilidad de la práctica	48
2.5 Conclusiones	49
Referencias	50

Capítulo 3.

Análisis integrado del territorio: caso Ciénaga de Betancí, municipio de Montería	52
---	----

Duberney Londoño Hernández, Jorge Villadiego Lorduy, Julio César Anaya Peña, Pedro Luis Payares Ramos, Ómar Díaz Hernández, Saily Pérez Hoyos

3.1 Introducción	53
3.2 Marco teórico	55
3.3 Metodología	56
3.4 Resultados y discusión	57
3.4.1 Área de estudio	57
3.4.2 Características fisicobióticas	57
3.4.3 Caracterización socioambiental de la ciénaga de Betancí	59
3.4.4 Dinámica espacial y problemas ambientales de la ciénaga de Betancí	60
3.4.5 Modelo matriz, parche, corredor	62
3.4.6 Construcción de escenarios	65
3.5 Conclusiones	67
Referencias	68

Capítulo 4.	
Vulnerabilidad frente al cambio climático: caso vereda La Alicia, municipio de Canalete	70
<i>María Beatriz Jiménez Ruiz, Andrea Ávila Fuentes, Jorge Villadiego Lorduy, Natalia García Corrales, Yhonattan Méndez Nobles, Tulia Gómez Márquez</i>	
4.1	Introducción 72
4.2	Marco teórico 73
4.3	Metodología 75
4.4	Resultados y discusión 76
4.4.1	Área de estudio 76
4.4.2	Análisis del grado de vulnerabilidad 77
4.4.3	Medidas que aumenten la capacidad adaptativa 81
	Conclusiones 82
	Referencias 84

Capítulo 5.	
Coagulante natural de tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>) para la potabilización de agua	86
<i>Pedro Payares Ramos, Johana Rodiño Argüello, Jorge Villadiego Lorduy, Kevin Rodríguez González, Adolfo Cortecero Bossio, Nubia Garzón Barrero</i>	
5.1	Introducción 87
5.2	Marco teórico 88
5.3	Metodología 89
5.4	Resultado y discusión 92
5.4.1	Área de estudio 92
5.4.2	Características fisicoquímicas de las muestras de agua cruda 92
5.4.4	Comportamiento del pH 97
5.4.5	Comportamiento de la alcalinidad 98
5.5	Conclusiones 102
	Referencias 103

Capítulo 6.	
Modelo de biodigestores para la producción porcina en la granja La Nueva Gloria	105
<i>Iván Sepúlveda Calderín, Julio Hernández González, Rubén Sepúlveda Vargas, Humberto Tejada Bustos, Daniel Espinosa Corrales, Carlos Wilches Bonilla</i>	
6.1	Introducción 106
6.2	Marco teórico 107

6.3 Metodología _____	109
6.4 Resultados y discusión _____	110
6.4.1 Área de estudio _____	110
6.4.2 Modelo de gestión ambiental por biodigestores _____	110
6.5 Conclusiones _____	121
Referencias _____	122

Capítulo 7

Biofertilización con <i>Azotobacter</i> Sp: una alternativa de mejoramiento de suelo y productividad en cultivo de ají jalapeño (<i>Capsicum Annuum</i> L) _____	124
---	-----

Óscar Jiménez Calderín, Juan Salvador Peña, Javier Sánchez Castillo, Daniel Espinosa Corrales, Natalia García Corrales, Jorge Villadiego Lorduy

7.1 Introducción _____	125
7.2 Marco teórico _____	126
7.3 Biofertilizantes _____	127
7.4 Género <i>Azotobacter</i> sp _____	128
7.5 Metodología _____	128
7.5.1 Procedimientos _____	129
7.6 Resultados y discusión _____	129
7.6.1 Área de estudio _____	129
7.6.2 Determinación de los parámetros biométricos _____	131
Conclusiones _____	140
Referencias _____	141

Lista de tablas

Tabla 1.	Contribución agrícola del Retiro de los Indios en el año 2015	44
Tabla 2.	Modo de instalación	48
Tabla 3.	Formulación de escenarios referentes a la ciénaga de Betancí	65
Tabla 4.	Condiciones de los test de jarras	91
Tabla 5.	Características fisicoquímicas del agua cruda	93
Tabla 6.	Características de la muestra de agua con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos y dosis de 500 mg/L	99
Tabla 7.	Características de la muestra de agua con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos y dosis de 750 mg/ L	100
Tabla 8.	Turbiedad residual y porcentaje de remoción en los diferentes tiempos de sedimentación	101
Tabla 9.	PHVA de Biodigestores	112
Tabla 10.	Distribución de diluciones seriadas	129
Tabla 11.	Composición fisicoquímica del suelo	130
Tabla 12.	Valores medios de área foliar	132
Tabla 13.	Resultados análisis de varianza para área foliar	133
Tabla 14.	Resultados altura del tallo	134
Tabla 15.	Análisis de varianza para altura de tallo	135
Tabla 16.	Diámetro del tallo	136
Tabla 17.	Longitud de la raíz	137
Tabla 18.	Análisis de varianza longitud radicular	138
Tabla 19.	Peso seco	139

Lista de figuras

Figura 1.	Localización finca Villa Elena _____	23
Figura 2.	Perfil longitudinal _____	25
Figura 3.	Modelo digital del terreno _____	26
Figura 4.	Estructura de trinchos _____	27
Figura 5.	Área antes de trinchos _____	28
Figura 6.	Área con trinchos _____	29
Figura 7.	Extracción estrella africana (<i>Cynodon plectostachyus</i>) __	29
Figura 8.	Extracción kikuyo _____	30
Figura 9.	Acumulación de sedimento _____	31
Figura 10.	Material sedimentado _____	32
Figura 11.	Mapas de anomalías de precipitaciones del mes de marzo 2015 (izquierda) y diciembre 2015 (derecha) _____	38
Figura 12.	Prácticas seleccionadas para cada sistema de producción con alta inteligencia climática _____	38
Figura 13.	Ubicación corregimiento Retiro de los Indios _____	42
Figura 14.	Comportamiento de la precipitación máxima 1987-2017 _____	43
Figura 15.	Régimen precipitación máxima multianual estación Turipaná 1987-2017 _____	43
Figura 16.	Prácticas adoptadas en épocas de lluvias _____	45
Figura 17.	Prácticas adoptadas en época de sequía _____	46
Figura 18.	Criterios y subcriterios para priorizar práctica agrícola climáticamente inteligente _____	46
Figura 19.	Resultado matriz de Holmes _____	47
Figura 20.	Ubicación del área de estudio _____	57
Figura 21.	Cuenca de la ciénaga de Betancí _____	58
Figura 22.	Análisis multitemporal ciénaga de Betancí _____	62
Figura 23.	Mosaico del paisaje, 1980 _____	63

Figura 24. Mosaico del paisaje, 1990 _____	63
Figura 25. Mosaico del paisaje, 2000 _____	64
Figura 26. Mosaico del paisaje, 2018 _____	65
Figura 27. Imagen satelital de la vereda La Alicia _____	76
Figura 28. Ingresos por familia _____	78
Figura 29. Eventos naturales de origen climático _____	79
Figura 30. Análisis de la vulnerabilidad _____	80
Figura 31. Medidas que aumentan la capacidad adaptativa _____	82
Figura 32. Ubicación geográfica área de estudio _____	92
Figura 33. Gráfico de contorno para la actividad coagulante con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos _____	94
Figura 34. Gráfico de contorno para la actividad coagulante con tiempo de mezcla lenta de 10 minutos _____	94
Figura 35. Remoción de turbiedad para los dos tiempos de mezcla lenta, con turbiedad inicial: T1 = 37.65 UNT, T2 = 145 UNT, T3 = 247.67 UNT ____	95
Figura 36. Turbiedad residual con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos _____	96
Figura 37. Turbiedad residual con tiempo de mezcla lenta de diez minutos _____	97
Figura 38. Comportamiento del pH con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos _____	97
Figura 39. Comportamiento del pH con tiempo de mezcla lenta de diez minutos _____	98
Figura 40. Comportamiento de la alcalinidad con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos _____	98
Figura 41. Comportamiento de la alcalinidad con tiempo de mezcla lenta de diez minutos _____	99
Figura 42. Esquema de gestión ambiental _____	108
Figura 43. Planeación y gestión de un sistema productivo _____	109
Figura 44. Ubicación geográfica área de estudio _____	110
Figura 45. Localización laboratorio de biotecnología Unicor _____	130

Presentación

“El ambiente y la economía son en realidad, dos caras de la misma moneda, si no logramos mantener el ambiente, no lograremos mantenernos a nosotros mismos”

Wangari Maathai

Actualmente el cambio climático es una preocupación global, algunos de los efectos más remarcables de este fenómeno son: el aumento constante y generalizado de las temperaturas en la superficie terrestre como consecuencia del efecto invernadero, el cambio en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, el derretimiento de los polos y glaciares, el aumento del nivel del mar, la alteración de los periodos de sequía e invierno, una mayor incidencia de catástrofes ambientales, entre otros. Sin embargo, uno de los efectos que más impacta en la calidad de vida y en el desarrollo de la sociedad es la alteración de la productividad agrícola, puesto que, con la incidencia de plagas, inundaciones, heladas y sequías prolongadas, se genera un deterioro del rendimiento de los cultivos, con esto se afecta la economía de subsistencia de los habitantes del sector rural, que dependen en gran medida del sector agrícola y agroindustrial para su sustento económico y para autoconsumo.

Desde los años 50, se ha visto el crecimiento de un modelo económico de consumo insustentable, que ha llevado un progreso dramático y sin precedentes, pero este crecimiento acelerado ha tenido consecuencias para la sociedad, factores que hoy se develan como grietas profundas en el sistema y que amenazan su existencia. La desigualdad y la inequidad se han acentuado, el uso exacerbado de los recursos y especialmente de la tierra, ha llevado a varias especies de flora y fauna al borde de la extinción y en algunos casos a la extinción misma. Pero el factor que representa el mayor peligro inminente es la degradación ambiental acelerada que ha tenido lugar a lo largo y ancho del globo, generada

por acciones antrópicas como la deforestación, la contaminación de las fuentes hídricas, la contaminación del aire, la emisión de gases de efecto invernadero, la arbitraria disposición de residuos de toda naturaleza, el uso excesivo de polímeros de muy baja o nula biodegradabilidad y, demás, que han contribuido a la construcción de un modelo económico de consumo insostenible, degradando el ambiente a un ritmo tal que supera la capacidad de recuperación, trayendo como consecuencia una mayor necesidad de expansión de los territorios aprovechables, en un frenesí productivo insostenible. Como ejemplo de lo anterior se dibujan casos como la zona muerta del golfo de México, el lento letargo del Mar Muerto que podría llegar a desaparecer como ocurrió con el Mar de Aral, la presencia de siete islas de plástico en todo el mundo con áreas superiores a 1,6 millones de km², la deforestación de más de 600.000 km² de bosque tropical anualmente en el Amazonas, entre otros.

Una gran parte de Latinoamérica y el Caribe comparte un alto grado de pobreza concentrado en las zonas rurales, así como la presencia de conflictos sociopolíticos internos, que en algunos casos conlleva alzamiento de grupos armados de oposición. Lo anterior genera un recrudecimiento de las condiciones de pobreza moderada y extrema en las poblaciones rurales, que son mayormente vulnerables ante la variabilidad y el cambio climático, por su dependencia de la producción agrícola, lo que resulta en una migración generalizada en varios países del mundo, de las zonas rurales hacia las zonas urbanas en busca de mejores oportunidades, encontrando una realidad que frecuentemente implica mano de obra mal remunerada, pérdida de la identidad y de la dignidad humana.

Colombia es un país que tiene una alta participación económica del sector agrícola, este representa más del 13 % de los aportes al PIB, superando el 10 % de los aportes por exportaciones y ocupando cerca del 22 % de la fuerza laboral del país, en contraste con un enfoque industrial y de servicios que representan una mayor rentabilidad, presentes en la mayor parte de las ciudades capitales, especialmente en Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena y Bucaramanga. Esto afecta directamente a los departamentos menos productivos que tienen una vocación agrícola, entre los que se resaltan el Valle del Cauca, Antioquia, Nariño, Cauca, Meta, Tolima y Cundinamarca, que se caracterizan principalmente por la producción de tubérculos, plátano, frutas, cereales, hortalizas, legumbres y

recursos forestales, los cuales configuran una fuerza laboral considerable, que requieren de una formalidad laboral específica por las condiciones temporales de los cultivos, por el efecto de la variabilidad climática y las condiciones geográficas específicas que lo exponen a fenómenos como el de El Niño y el de La Niña. Todo esto conlleva problemas de seguridad laboral y vulnerabilidad económica de los habitantes del sector rural, lo cual configura un deterioro de la calidad de vida.

La costa atlántica tributa aproximadamente el 15 % del PIB del país, siendo los departamentos que más aportan desde el sector agrícola, Magdalena, Córdoba y Cesar, evidencia esto una vocación agrícola. En el caso específico de Córdoba se cuenta con un 43,8 % de la población en zonas rurales que supera por mucho al 22 % que es la media nacional de habitantes en zonas rurales, todo esto pese a que el sector agropecuario no representa más del 10 % del aporte al PIB del departamento, implicando que la rentabilidad per cápita del sector que mueve la economía del departamento no es elevada, lo cual se evidencia al revisar el índice de pobreza extrema que se ubica en el 11,1 % de los habitantes, muy por encima del 7,2 % de la media nacional, contando además con un índice de pobreza monetaria del 44,2 % que nuevamente supera la media nacional del 27 %, todo esto refleja el alto grado de vulnerabilidad al tener un gran número de habitantes que depende de actividades agrícolas, altamente amenazadas por las condiciones de variabilidad climática.

No obstante existen aspectos que trascienden los indicadores económicos, una de las principales razones por las que el departamento tiene vocación agrícola, viene asociada a los orígenes y la herencia ancestral de sus habitantes, puesto que los valles del Río Sinú y San Jorge que atraviesan al departamento y que fueron la principal razón de asentamiento de las tribus precolombinas en la región, siendo los Zenú la tribu predominante, con más de 6.000 años de herencia ancestral, representan uno de los valles más fértiles en el mundo, comparado internacionalmente con valles como el del Nilo, el Tigris o el Éufrates, esto se evidencia al hacer un inventario de los innumerables tipos de frutos que se dan en estas tierras, lo que refleja una de las principales fortalezas agrícolas de la región, que es la predominancia de cultivos rotativos para autoconsumo, esto sumado a la riqueza hídrica, cultural y ancestral del departamento que comulga con el cuidado de la tierra y el turismo como punto conector de la costa atlántica con el departamento de Antioquia y el eje cafetero, su rol como

proveedor de arroz, maíz y miel, son lo que representa el potencial comercial y turístico del departamento, que requiere de la intervención de las instituciones educativas en el fortalecimiento de sus vocaciones económicas.

Para que un sistema productivo sea sostenible, debe abarcar los enfoques de la sostenibilidad, es decir que deben tener un enfoque de sostenibilidad ambiental, económico y social. Es por esto que el propósito de este documento es presentar estudios de caso que permitan identificar alternativas de sostenibilidad en los diferentes escenarios productivos del departamento de Córdoba, que afectarán en mayor medida a los pequeños productores en cultivos de pancoger y autoconsumo, por lo tanto, esta obra proporciona una serie de experiencias de locales que contribuyen a la sostenibilidad del territorio interviniendo en técnicas de adaptación de los cultivos, la recuperación de suelos, el desarrollo de estrategias de adaptación frente al cambio climático, la producción alimentaria con estructuras adecuadas y el manejo coherente de los recursos hídricos, las cuales son estrategias que abren el camino a un cambio de mentalidad que favorezca la relación del ser humano con su entorno.

Javier R. Sánchez Castillo
Jorge R. Villadiego Lorduy



Capítulo 1.

Uso de trinchos para recuperación de suelos: caso finca Villa Elena, Montería

Hugo Villadiego Martínez¹

Gustavo González Carvajal²

Fernando Ramírez Muñoz³

Tomás Ramón Florville⁴

Pedro Payares Ramos⁵

Jorge Villadiego Lorduy⁶

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo el desarrollo de una experiencia piloto utilizando trinchos como una medida de la bioingeniería para disminuir el proceso erosivo del suelo en la finca Villa Elena. Para ello, se caracterizó físico-bióticamente el área de estudio, analizando variables edafológicas, geológicas, geomorfológicas, entre otras, lo que permitió conocer el estado actual en que se encontraba el territorio en mención. Por otro lado, se procedió a diseñar estructuras de bioingeniería tipo trincho, analizando pendiente, grado de erosión, cobertura vegetal y materiales a utilizar, se definió así la estructura más adecuada. Así mismo, se evaluó el comportamiento de los trinchos implementados, teniendo en cuenta el grado de recuperación del suelo y el material vegetal utilizado, con

1 Ingeniero sanitario y ambiental. Profesional ambiental en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

2 Ingeniero agrónomo, consultor agrícola. Correo: gusagro@gmail.com

3 Docente investigador Universidad Nacional de Costa Rica. Correo: framirez@una.ac.cr

4 Docente investigador Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph. D. en Ingeniería Ambiental. Correo: tomas.florvillea@upb.edu.co

5 Ingeniero sanitario y ambiental. Director Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

6 Docente investigador Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph.D. en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Correo: jorge.villadiegol@upb.edu.co

el fin de determinar el grado de eficiencia de la obra de bioingeniería ejecutada. Desde el punto de vista metodológico, para la implementación de la experiencia piloto se aplicó una tipología de estudio cuasiexperimental, construyendo tres áreas de experimentación de 9 m², (3 m x 3 m). Las estructuras se construyeron en material de guadua, con refuerzos verticales de los trinchos a cada 50 cm eje, con profundidades aproximadas de 50 cm en cada uno de ellos

Dentro de los resultados obtenidos, se señala que el recurso suelo en la finca Villa Elena presenta graves problemas de erosión por usos inadecuados, además que sus terrenos en zonas altas no son aptos para actividades ganaderas. Se concluye que el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es la especie vegetal con mejor crecimiento en el sector en estudio.

Palabras clave: suelos; erosión; caracterización biofísica, bioingeniería; material vegetal

Abstract

The objective of this research was to develop a pilot experience using trenches as a bioengineering measure to decrease the soil erosion process on the Villa Elena farm. For this, the study area was physically-biologically characterized, analyzing edaphological, geological, geomorphological variables, among others, allowing to know the current state in which the mentioned territory was.

On the other hand, we proceeded to design trincho-type bioengineering structures, analyzing slope, degree of erosion, vegetation cover and materials to be used, thus defining the most appropriate structure. Likewise, the behavior of the implemented trenches was evaluated, taking into account the degree of soil recovery and the plant material used, in order to determine the degree of efficiency of the bioengineering work carried out.

From the methodological point of view, for the implementation of the pilot experience, a quasi-environmental study typology was applied, constructing three areas of experimentation of 9m², (3m x 3m). The structures were built in guadua material, with vertical reinforcements of the trenches every 50 cm axis, with approximate depths of 50 cm in each one of them.

Among the results obtained, it is pointed out that the soil resource on the Villa Elena farm presents serious erosion problems due to inappropriate uses, and that its land in high areas is not suitable for livestock activities. It is concluded that kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum*) is the fastest growing plant species in the sector under study.

Key words: soils; erosion; biophysicist; bioengineering; vegetal materials.

1.1 Introducción

Existen diversas categorizaciones y técnicas para caracterizar, contribuir y remediar el recurso suelo, se requiere de amplios conocimientos técnico-científicos acerca de este y de estudios de laboratorio, que pueden resultar muy dispendiosos, debido a que muchos agricultores carecen del conocimiento y los recursos para evaluar su suelo y su terreno usando dichas metodologías (Cock, Álvarez y Estrada, 2010, p. v).

El objetivo primordial del estudio de la ciencia del suelo es el entendimiento de su naturaleza, propiedades, dinámicas y funciones como parte del paisaje y los ecosistemas. Para lograrlo, es necesario la disponibilidad de información confiable sobre su morfología y otras características obtenidas mediante el trabajo y la descripción del suelo en el campo. Es fundamental que la descripción del suelo se haga minuciosamente puesto que sirve de soporte para la clasificación del suelo y la evaluación del sitio, además de desarrollar apreciaciones acerca de la génesis y funciones medioambientales. Una adecuada especificación del suelo y el saber derivado en cuanto a su origen, son también instrumentos útiles para dirigir, ayudar en la explicación y regular el costoso trabajo de laboratorio (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, 2008, p. 1).

Por otro lado, los suelos son impactados por las actividades antrópicas, como la industrial, ganadera y agrícola, que comúnmente resulta en su deterioro y daño o disminución de sus funciones. Para evitar el deterioro y recuperar el potencial de los suelos degradados, se necesita como prerrequisito información edáfica confiable, como ingrediente para el diseño de sistemas de uso de la tierra y prácticas de manejo de los suelos apropiados, así como para alcanzar una mejor comprensión del ambiente (FAO, 2008, p. 2).

El desprendimiento de la capa vegetativa y la pérdida de algunas de las propiedades físicas como la estructura y la consistencia del suelo, hacen que se tome conciencia sobre las afecciones que origina este problema y obliga a que se generen medidas de mitigación. La finca Villa Elena hace parte de una zona que, a pesar de no tener riesgo de inundaciones, tiene un alto grado de erosión causado por la escorrentía desde la parte superior de la propiedad en su zona de pendiente y causado por la

presencia de ganado en dicho suelo. Este terreno se encuentra amenazado con miras a desaparecer y así anular los posibles usos que se le pueden dar a las tierras (agricultura), afectando así los cursos de agua y el componente paisajístico. En el marco de lo anterior, se desarrolló un proceso de recuperación de los suelos de la finca Villa Elena mediante la implementación de obras de bioingeniería tipo trinchos, que contempló la caracterización físico-biótica del área de estudio, así como el diseño, implementación y evaluación de trinchos (muro de contención de material vegetal que evita la erosión), y su comportamiento frente a la recuperación del suelo.

1.2 Marco teórico

1.2.1 El recurso suelo y la erosión

El recurso suelo puede entenderse como el área superficial de la corteza terrestre, que además está en contacto con el ser humano y donde se ubican y desarrollan especies vegetales debido a que en dicha superficie encuentran nutrientes y agua fundamental para su crecimiento. Por lo tanto, como la vida humana y animal está directamente ligada a la existencia de las plantas, el suelo debe manejarse de forma racional, con el fin de evitar su deterioro, debido a que este es un recurso natural dispuesto al agotamiento, y sin su existencia, la vida en el planeta estaría seriamente amenazada.

De igual forma, la erosión tiene su origen en la deforestación. Cada fragmento de selvas talado es suelo que queda susceptible a la degradación (Silva, 2015). La erosión se traduce como el desprendimiento de terreno a causa de la escorrentía superficial a largo plazo, causado por el impacto de fuertes vientos. Lo anterior, involucra la presencia de dos componentes que colaboran en el proceso: uno pasivo que es el suelo, y uno activo que es el agua, el viento, o su participación alterna (meteoros); por otro lado, la vegetación procede como un regulador de las relaciones entre ambos componentes.

Existen dos clases básicas de erosión: la geológica o natural, y la antrópica o acelerada. La primera se genera regularmente en ausencia de acciones

antrópicas, está por tanto fuera del control humano; se caracteriza por ser muy lenta, tanto que pasa desapercibida y aporta en cierta medida a la constitución del relieve mismo y a la meteorización de las rocas. En la erosión natural participan el agua (ríos, mar, lluvia), el viento, la temperatura y la gravedad, es considerada benéfica, debido a que busca la estabilidad de la superficie y un equilibrio entre el suelo, la vegetación, los animales y el agua. La segunda, es derivada de las actividades que ejerce el ser humano en el planeta, influenciadas dichas actividades por el factor económico.

1.2.2 Obras de bioingeniería

La construcción de trinchos empleando estacas vegetales y de muros criba con maderas y ramas de maleza constituyen soluciones bastante atractivas para el manejo de taludes. Lo anterior, debido a que esta biotecnología contribuye a su equilibrio, además de la aparición de cobertura vegetal (Suárez, 1998). El trincho, es un muro de contención que se usa en zonas afectadas por procesos erosivos para apuntalar un terraplén adyacente a un curso de agua. Los trinchos son elementos horizontales, generalmente de madera o guadua, soportados por postes verticales que trabajan fundamentalmente a flexión, y con los cuales se busca evitar la excavación y formación de surcos y cárcavas en los taludes con concentraciones altas de escorrentía.

Dentro de los referentes teóricos asociados a la bioingeniería para la recuperación de suelos, resaltan los aportes de Beighley, Scholl, Fuacette y Governo (2010); Rey *et al.* (2007); Flórez (2014) y Gyssels *et al.*, (2005) entre otros. Los estudios desarrollados estuvieron centrados en la erosión, los controles de erosión, condiciones del suelo compactado y las técnicas sostenibles para el manejo y conservación del suelo. Por último, las coberturas vegetales asociadas a este tipo de bioingeniería sirven como mecanismos de protección y conservación del suelo, especies como la estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) contribuyen a disminuir los procesos erosivos. La combinación de estas coberturas con obras bioingenieriles es una alternativa efectiva para evitar la degradación del suelo.

1.3 Metodología

La metodología que se utilizó para desarrollar la experiencia piloto tuvo un enfoque de carácter cuantitativo, con una tipología de estudio experimental. Adicional a esto, el estudio se soportó en el análisis de información primaria correspondiente a las distintas mediciones de variables (características del terreno, condiciones edafológicas, pendientes, vegetación, grado de erosión entre otras) realizadas en campo. Así mismo, se desarrolló el análisis de información secundaria tomada de estudios y literatura especializada: i) Plan de Ordenamiento Territorial de Montería (POT, 2002), ii) diagnósticos ambientales, iii) prácticas de control para la construcción en sitios erosionados (Beighley *et al.*, 2010), iv) efectividad de la bioingeniería para el tratamiento de la erosión y movimientos de masa en laderas (Flórez, 2014) entre otros.

Con la información secundaria obtenida del POT y de estudios de diagnóstico ambiental de la zona, se caracterizó físico-bióticamente el área escogida para la intervención. Dentro de las técnicas empleadas para la ejecución de la investigación, se apunta la observación en campo y la entrevista a expertos en recuperación de suelo. Por otro lado, se realizó un análisis comparativo de la información secundaria de estudios relacionados con la temática y las características biofísicas del área de estudio, que sirvieron de soporte para el desarrollo de un modelo digital de terreno (MDT). En la fase de campo se diseñaron e implementaron estructuras tipo trincho que respondían a las particularidades del entorno, en total se construyeron tres estructuras.

Para el proceso de construcción de los trinchos se tuvieron en cuenta materiales propios de la región (guadua, estacas de chirimoya (*Annona cherimola*), matarratón (*Guadua angustifolia*), ñipi ñipi (*Sapium aucuparium*) e higo (*Ficus carica*). Además, se utilizaron pastos con raíces pequeñas, pero eficientes en el proceso de enraizamiento, como estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Se seleccionaron coberturas vegetales que se acoplaran a las condiciones edafológicas del área y su problemática de erosión, además de las condiciones ambientales existentes. Se compararon los resultados obtenidos con el antes y el después de la implementación de las obras de bioingeniería. Entre los instrumentos utilizados se contó con GPS (*Global Positioning System*) para marcar los puntos con los cuales se establecerían

las curvas y pendientes de la zona intervenida, cámara fotográfica, un *software* geográfico (Arcgis 9.1) y Excel versión 2016 para el análisis y elaboración de gráficos con base en los datos obtenido en campo.

1.4 Resultados y discusión

1.4.1 Área de estudio

La finca Villa Elena se encuentra ubicada en el kilómetro 17 vía Tierralta en la vereda Pueblo Nuevo, perteneciente a Montería, departamento de Córdoba. Exactamente en las coordenadas geográficas $08^{\circ} 37' 58,4''$ N y $75^{\circ} 47' 19,6''$ W. La finca posee una extensión de 8 ha (figura 1).

Figura 1. Localización finca Villa Elena



Fuente: Google Earth, 2018.

1.4.2 Caracterización fisicobiótica

Es fundamental, para definir las clases de suelo, establecer la relación fisiografía-suelos que hay en la zona de estudio, debido a que el conocimiento obtenido de dicha relación se convierte en un modelo predictivo que permite saber cuáles suelos se van a presentar para una parte específica del terreno. Cuando se ha establecido dicho patrón de distribución de los suelos, la labor de delimitar se facilita enormemente (Jaramillo, 2002 p. 523).

Referente a su geomorfología, el terreno de la finca Villa Elena está en una categoría de colinas bajas a medias que muestran diversidad de configuraciones como resultado de los contrastes litológicos y estructurales. Este paisaje es común a todas las formaciones geológicas presentes en el municipio, es decir, se han conformado sobre sucesiones sedimentarias de distintas litologías (POT, 2002).

Según el POT (2002), los terrenos dentro de y aledaños al predio Villa Elena presentan suelos con pendientes del 7 % al 12% y del 12 % al 35 % conformados por sedimentos coluvio-aluviales de grano grueso y reacción ácida, caracterizados por ser profundos con poco número de horizontes en el perfil, suelos de texturas arenosas a franco arenosas. En especial, estos suelos se caracterizan por ser cantos rodados, presentan afloramientos, con escasa cobertura vegetal sobre el suelo y el uso inadecuado del mismo, suelos pobremente estructurados por la poca presencia de minerales arcillosos y bajo contenido de materia orgánica humificada. Desde el punto de vista químico, los suelos de la finca se caracterizan por ser de reacción ácida a ligeramente ácida (ph 4,5-5,5), con bajos niveles de materia orgánica y muy bajos contenidos de fósforo, además que los contenidos de azufre son de bajos a medios. En cuanto a la salinidad, no presentan problemas, registra valores muy bajos de conductividad eléctrica.

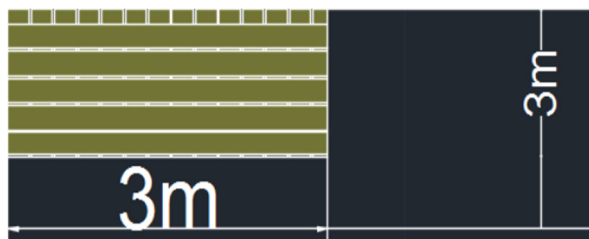
Dentro de las principales limitantes para la producción en estos suelos, se señalan los graves problemas de erosión por usos inadecuados, lo que genera la pérdida de la capa fértil del suelo y de los niveles de materia orgánica que alcanzan a formarse. Por otro lado, las zonas altas no son aptas para actividades ganaderas, debido a que esta actividad favorece la erosión del suelo en circunstancias de altas pendientes. Adicionalmente, los suelos de la finca en cuestión tienen una textura arenosa a franco arenosa; la arena es suelta de granos simples, pero tiene la suficiente cantidad de arcilla y limo para hacerlos ligeramente más coherentes.

En términos de amenaza, no existen inundaciones por anegamiento en la finca, este predio se encuentra en una parte alta, además de que la vereda Pueblo Nuevo, donde la misma se encuentra ubicada, presenta una topografía y una red de drenajes que no es susceptible a inundaciones. Sin embargo, sí hay amenaza ante los movimientos en masa y la erosión, y es de carácter moderado. Para la evaluación de este fenómeno se

consideraron cuatro variables: inclinación de la pendiente, dirección de la pendiente, cobertura y uso del suelo y, por último, geomorfología. Además, se ha perdido entre el 25 % y el 75 % del suelo superficial; sin omitir procesos de escurrimiento difuso intenso sin surcos o con muy pocos. La zona de localización de Villa Elena cuenta con una precipitación promedio anual de 1.000 a 1.200 mm.

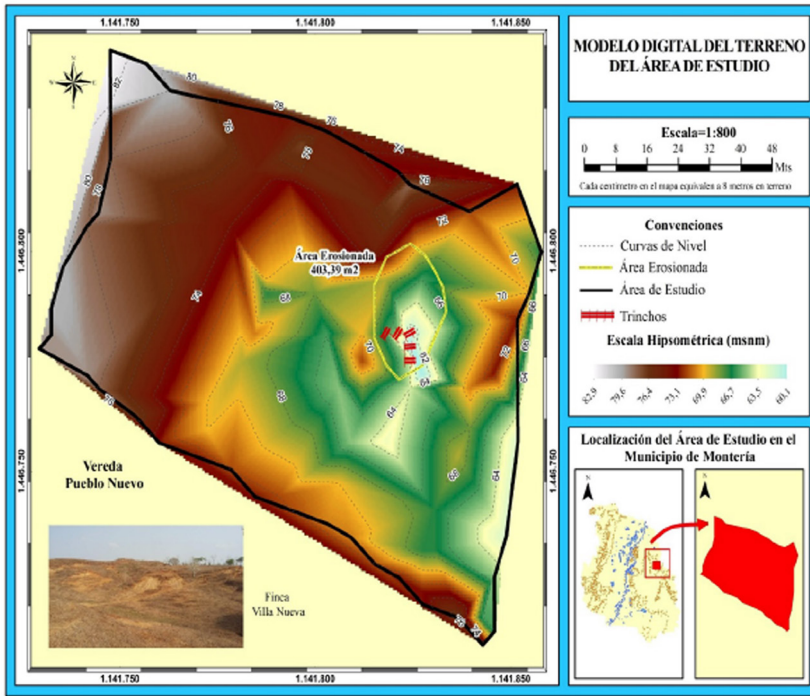
Igualmente, el uso actual del suelo que se le da a la zona de estudio corresponde a pastos artificiales. El suelo en el área rural se encuentran sembrado por pastos para la ganadería con un 83,6 %, los más representativos son: i) pastos artificiales, ii) pastos artificiales/maleza, iii) pastos artificiales/pastos naturales y iv) pastos naturales (POT, 2002). Teniendo en cuenta la pendiente, grado de erosión, cobertura vegetal y las características físicas de la finca, se estableció un perfil longitudinal (figura 2) para el diseño de los trinchos y un modelo digital de terreno (MDT), que permitió su representación espacial para visualizar elevaciones, pendientes y curvas propias de toda el área escogida. Mediante el MDT se calculó el total de área erosionada en el terreno que correspondió a 403,39 m² (figura 3).

Figura 2. Perfil longitudinal



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Modelo digital del terreno



Fuente: elaboración propia.

1.4.3 Implementación de estructuras de bioingeniería

El proceso de construcción de las estructuras (trinchos) inició con la selección y siembra de pastos nativos de la región, escogiendo estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) como los óptimos por ser considerados plantas locales. Se realizó un control y seguimiento del crecimiento de dichos pastos en cada una de las áreas durante cuatro meses (periodo de lluvia). Las visitas se realizaron cada quince días. El primer trincho contó con un área aproximada de 8,97 m², el segundo con 9,27 m² y el tercero ocupó un área aproximada de 9,14 m² (figura 4).

Figura 4. Estructura de trinchos



Fuente: elaboración propia.

Cada trincho estaba diseñado de 9 m², es decir, 3 m de longitud y 3 m de ancho (figura 2), acomodándose de esta manera a la forma del terreno. Las estructuras se construyeron en material de guadua, con refuerzos verticales de los trinchos a cada 50 cm eje, con profundidades aproximadas de 50 cm en cada uno de ellos. En el proceso de construcción de los trinchos, la selección obedeció a la dirección predominante y paralela de la escorrentía, iniciando el montaje desde la parte más alta, hasta la parte más baja del área intervenida. De igual manera, esta era el área más crítica del terreno que ocupa dicha finca.

Las condiciones más abruptas presentadas en el terreno, sin duda necesitaban ser intervenidas con el objetivo de contrarrestar el proceso erosivo. Las especies ciperáceas (*Cyperaceae*) y escobillas (*Sida cordifolia*) que fueron ajenas al proyecto, nacieron espontáneamente, contribuyendo a que el impacto de la gota de agua, al momento en que se presentaran las precipitaciones, disminuyera su colisión. Las distintas especies que surgieron mediante su florecimiento natural son consideradas equivocadamente como “malezas”. Las especies escogidas -estrella africana

(*Cynodon plectostachyus*) y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)- fueron sembradas de forma manual, usando herramientas y equipos propios de la finca Villa Elena, en donde se procedió a realizar la siembra en horas de la tarde, a la puesta del sol para que el estrés vegetal fuera mínimo.

Cabe resaltar que, por el caso atípico de las precipitaciones que se presentaron en la zona, se tuvo un desarrollo significativo representado en el crecimiento de las distintas especies señaladas. Con el paso del tiempo, se constató el crecimiento progresivo que fue tomando cada plántula sembrada y se observó que enraizaron de manera satisfactoria en el terreno. Esto a causa de la presencia de los distintos nutrientes del suelo y de las características propias de la zona. Conforme a las condiciones óptimas que se presentaron en el área de estudio, producto de la buena siembra y de las agradables condiciones presentes en la finca, las especies fueron poblándose y anclándose en el área limitada por los trinchos, lo cual significó que los resultados fueron los esperados.

1.4.4 Comportamiento de la estructura tipo de trincho

De acuerdo con la estructura construida (trinchos en guadua) se pudo constatar que tuvo un buen comportamiento, tal cual como se esperaba: i) la energía del agua de escorrentía se logró disipar, y ii) el arrastre de las partículas de suelo se fue acumulando en cada uno de los tramos perteneciente a los trinchos (figuras 5 y 6).

Figura 5. Área antes de trinchos



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Área con trinchos



Fuente: elaboración propia.

Durante el proceso evaluativo para medir el crecimiento que tuvo la raíz de los pastos sembrados durante los cuatro meses, se procedió a desenraizar del área del primer trincho la especie estrella africana (*Cynodon plectostachyus*), la cual arrojó una extensión de la raíz de 6 cm. Eso da a entender que el pasto escogido fue propicio y se adaptó al terreno, logrando conseguir su objetivo y su propagación (figura 7).

Figura 7. Extracción estrella africana (*Cynodon plectostachyus*)



Fuente: elaboración propia.

En el segundo trincho, donde se plantó la especie kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), la extensión que alcanzó la raíz fue de 12 cm. Con la especie kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), se pudo ver que los nudos de la planta se fueron enraizando en el terreno, la cual es una característica de este tipo de pastos (figura 8).

Figura 8. Extracción kikuyo



Fuente: elaboración propia.

En el tercer trincho donde se hizo la combinación de estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) con kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), la primera creció alrededor de 6 cm y la segunda 12 cm, se evidenció también este mismo crecimiento por la gran retención de sedimento presente en esta área considerada como más baja, lo cual permitió convertirse en el soporte de todo el material no consolidado en descenso. El suelo retenido en la parte baja de los trinchos, mediante el escarbe con un pincho de guadua arrojó para el primer trincho una profundidad de 4 cm; para el segundo 3 cm de tierra retenida y para el tercero y último igualmente 3 cm (figura 9).

Figura 9. Acumulación de sedimento



Fuente: elaboración propia.

Esta acumulación se convirtió en la mejor muestra de que las barreras vivas (trinchos, plantas, pastos, estacas) cumplieron con su objetivo, demuestra que el terreno, aunque estaba en condiciones agrestes, en términos de pendiente e inclinaciones, pudo retener el suelo que antes no se podía haber contenido. La presencia de fauna en el suelo ganado en los trinchos muestra que el crecimiento de la vegetación contribuyó al resarcimiento del terreno, aun cuando la prueba piloto que se desarrolló en el terreno fue de muy corta duración. Se evidencia también el material no consolidado presente en el área de influencia de los trinchos, se señala la existencia de suelo producto de la sedimentación causada por las escorrentías, dicho material es rico en nutrientes y es muestra del impacto que generó la obra en la zona afectada (figura 10).

Figura 10. Material sedimentado



Fuente: elaboración propia.

1.5 Conclusiones

Gran parte del suelo de la finca Villa Elena se encontraba asediado por altos niveles de erosión, con afloramientos rocosos presentes en las partes más altas y un poco más leve en la zona media de la pendiente. La implementación de trinchos permitió el crecimiento de cobertura vegetal que contribuyó, en parte, a la mitigación de los procesos erosivos en las áreas intervenidas.

La guadua, como material de construcción para las obras de bioingeniería, prestó solidez en la implementación del diseño de los trinchos de una manera asertiva. Las estructuras edificadas lograron retener el material no consolidado proveniente de las partes altas, y que, con la combinación del agua proveniente de las precipitaciones, soportó la carga ejercida en función de la gravedad.

Los pastos sembrados -estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)- enraizaron en el terreno, aun

cuando previamente se había determinado que el suelo existente era completamente abrupto. Con la longitud calculada de las raíces de los pastos (estrella africana 6 cm, y kikuyo 12 cm), se concluyó que es viable la implementación de este tipo de obras de bioingeniería al momento de recuperar un suelo fuertemente erosionado.

Aunque tanto la estrella africana como el kikuyo presentaron un considerable crecimiento en sus raíces, se pudo determinar que el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) superó considerablemente en longitud de raíz al estrella africana (*Cynodon plectostachyus*), por lo que se concluye que es el kikuyo uno de los pastos con mayor aceptación en el terreno.

Referencias

- Alcaldía de Montería. (2002). Plan de Ordenamiento Territorial de Montería Córdoba. 2002-2015. <https://www.monteria.gov.co/publicaciones/2076/pot/>
- Beighley, E., Scholl, B., Faucette, B. y Governo, J. (2010). Runoff Characteristics form Construction Site Erosion Control Practices. *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*, 136(6), 405-413.
- Cock, J., Álvarez D. y Estrada, M. (2010). Guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno. [http://www.aclimatecolombia.org/download/agricultura-por-sitio/rasta-2011-121116071713-phpapp02\(2\).pdf](http://www.aclimatecolombia.org/download/agricultura-por-sitio/rasta-2011-121116071713-phpapp02(2).pdf)
- Flórez, G. (2014). Efectividad de la bioingeniería para el tratamiento de la erosión y los movimientos en masa en laderas. http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1282/Florez_Florez_Gloria_del%20Socorro_2014.pdf?sequence=1
- Gyssels, G., Poesen, J. y Bochet, E. (2005). Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress In Physical Geography*, 29(2), 189-217. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra>
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Rey, F., Guarat, P., Blanco A., Breff, F., Giclis M. y Suárez V. (2007). Técnicas sostenibles para el manejo y conservación del suelo en un ecosistema cafetalero. *Feijoo*, 34(2), 63-68. <https://n9.cl/e9u5>

- Silva, J. (2015, 4 de mayo). Colombia se queda sin piel: erosión afecta a casi medio país. <http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/erosion-en-colombia/15684196>
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>



Capítulo 2.

Agricultura climáticamente inteligente: caso de estudio corregimiento Retiro de Los Indios, Cereté, Colombia

Lilibeth Montes Cruz⁷
Sergio Galeano Vargas⁸
Javier Sánchez Castillo⁹
Jorge Villadiego Lorduy¹⁰
Stalyn Guerrero Gómez¹¹

Resumen

En este estudio se desarrolló un análisis descriptivo de la percepción de cambio del clima por parte de los habitantes del corregimiento Retiro de Los Indios que permita evidenciar alteraciones de los patrones ambientales en los últimos treinta años, así como sus efectos sobre los cultivos del área de estudio. Para ello, se analizaron datos cuantitativos y cualitativos, se realizó una revisión de los registros pluviométricos de la estación Turipaná, aplicando serie multianual continua desde el año 1987 a 2017, se elaboró un estudio de corte descriptivo, para intentar reconocer las variaciones en la precipitación, posteriormente se realizaron y validaron veintiuna entrevistas semiestructuradas con el método *bola*

7 Ingeniero sanitario y ambiental. Coordinador ambiental en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

8 Ingeniero sanitario y ambiental. Consultor ambiental. Correo: sagv3196@gmail.com

9 Docente investigador Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. M. Sc. Ciencias de la Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Correo: javier.sanchezc@upb.edu.co

10 Docente investigador Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph. D. en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Correo: jorge.villadiegol@upb.edu.co

11 M. Sc. Estadística. Profesional estadístico en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

de nieve, y se identificaron además las estrategias de adaptación empleadas por algunos de los habitantes para mitigar los impactos ambientales en los cultivos. Finalmente se contrastaron los resultados recopilados de forma directa con una consulta de fuentes secundarias que permitió identificar las prácticas agrícolas climáticamente inteligentes, se permite resaltar el uso de camellones como una práctica ancestral, de fácil implementación, de bajo costo, así es posible proteger los suelos y optimizar el aprovechamiento hídrico.

Palabras clave: variabilidad climática; agricultura climáticamente inteligente (CSA); seguridad alimentaria; pequeños agricultores; conocimiento local.

Abstract

In this study, a descriptive analysis of the perception of climate change by the inhabitants of the town of Retiro de Los Indios is carried out, which allows evidence of changes in environmental patterns in the last 30 years, as well as its effects on crops in the area. study. For this, quantitative and qualitative data were analyzed, performing a review of the pluviometric records of the Turipaná station, applying a continuous multi-year series from 1987 to 2017, a descriptive cut study was prepared, to try to recognize variations in precipitation, Later, 21 semi-structured interviews were carried out and validated with the “Snowball” method, also identifying the adaptation strategies used by some of the inhabitants to mitigate environmental impacts on crops. Finally, the results compiled were directly contrasted with a consultation of secondary sources that allowed identifying climate-smart agricultural practices, allowing the use of ridges to be highlighted as an ancestral practice, easy to implement, and inexpensive, thereby allowing soil protection and optimize water use.

Key words: climatic variability; climate smart agriculture; food safety; small farmers; climate-smart agricultural practices

2.1 Introducción

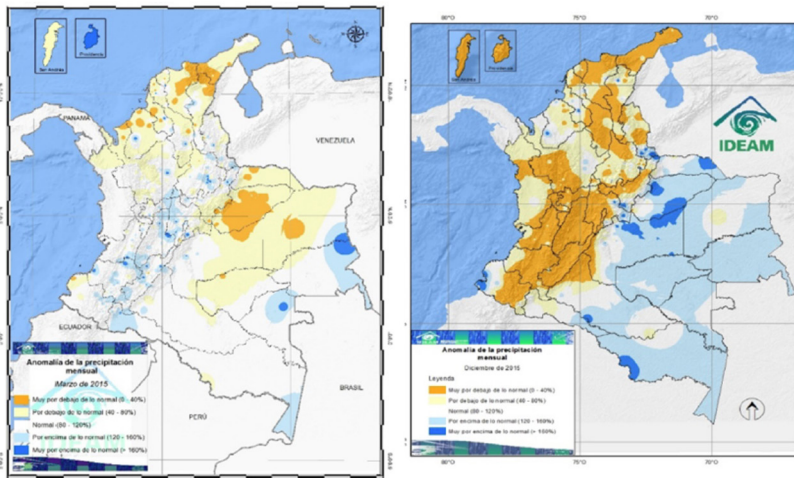
“En el siglo XXI, las sociedades humanas enfrentan un importante aumento en la frecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos, asociados a la variabilidad climática y/o cambio climático” (Quintero, Carvajal y Aldunce, 2012)2011-03-25 (Rev. 2012-03-01. Uno de los eventos climáticos extremos más recordados en Colombia fue el fenómeno de La Niña en los años 2010-2011. Muñoz (2015) afirma que la magnitud de las precipitaciones superó los límites normales, por lo que el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) emitió la alerta para que el gobierno decretara el estado de excepción bajo

la modalidad de emergencia económica social y ecológica por causa de las lluvias. Las afectaciones de la ola invernal 2010-2011 se presentaron tanto en las zonas rurales como las zonas urbanas. El gerente del Fondo Nacional de Calamidades, subcuenta Colombia Humanitaria, indicó que alrededor de cuatro millones de personas fueron afectadas en veinticinco departamentos y 575 municipios.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal, 2012) enfatizó en que “los sectores con mayor participación en los daños son hábitat (44 %) e infraestructura (38%); le siguen los de servicios sociales y administración pública (11 %) y los sectores productivos (7 %)”. Cabe destacar que el mayor número de hogares afectados, teniendo en cuenta el informe final del registro único de damnificados por la emergencia invernal 2010-2011 del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), fueron los que tuvieron pérdidas agropecuarias con un total de 603.895 hogares, seguido por afectación de vivienda con 557.357 hogares y 483.929 núcleos familiares con pérdida de cultivos. Para los años 2015-2016, Colombia sufrió un nuevo evento climático extremo de importancia denominado fenómeno de El Niño. De acuerdo con los mapas de anomalías de precipitaciones (figura 11), el fenómeno empezó a manifestarse en el mes de marzo en la región Caribe y en la Orinoquía; y para final de año, este se encontraba en fase de gran intensidad en la región Caribe, Pacífico y Andina.

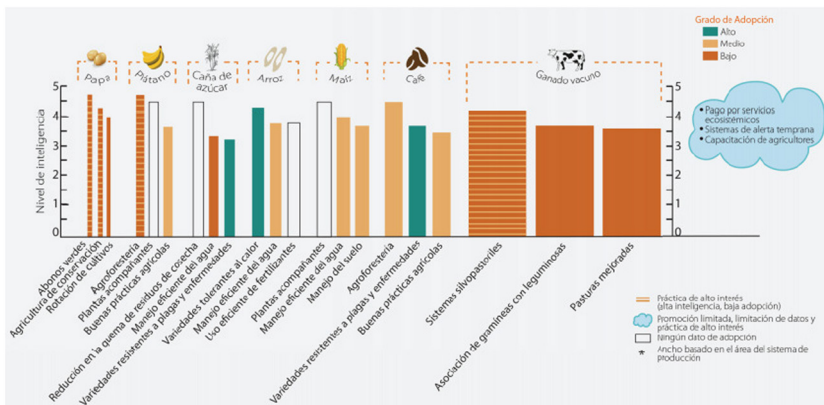
Como consecuencia, según Melo et al. (2017) hubo una reducción en la generación de energía hidroeléctrica, reducción en la navegabilidad en algunos ríos, incremento de trastornos nutricionales, agudización de la proliferación de plagas en cultivos propensos a inundaciones, reducción en la productividad agropecuaria hasta del 5 % con mayores impactos en cultivos permanentes que en transitorios, entre otros. En Colombia, desde hace décadas los productores utilizan estrategias agrícolas climáticamente inteligentes. Sin embargo, el país tiene una tasa baja de adopción que se debe a la desarticulación que hay entre la oferta tecnológica, la percepción del riesgo del agricultor y las condiciones socioeconómicas (Banco Mundial, Centro Internacional de Agricultura Tropical y Centro Agropecuario Tropical de Investigación y Enseñanza, 2012). En la figura 12 se muestran las principales prácticas climáticamente inteligentes utilizadas en el país por sistema de producción.

Figura 11. Mapas de anomalías de precipitaciones del mes de marzo 2015 (izquierda) y diciembre 2015 (derecha)



Fuente: modificado de IDEAM, 2015.

Figura 12. Prácticas seleccionadas para cada sistema de producción con alta inteligencia climática



Fuente: Modificado de Banco Mundial, Centro Internacional de Agricultura Tropical y Centro Agropecuario Tropical de Investigación y Enseñanza. 2015.

De acuerdo con lo anterior, se busca proponer una práctica de adaptación a la variabilidad de la precipitación, útil para el desarrollo de la pequeña agricultura, que le permita al campesino no solamente enfrentar condiciones extremas de inundación o sequía, sino también que tenga como consecuencia garantizar seguridad alimentaria asociada al consumo de subsistencia de una familia campesina, tal es el caso de los agricultores a pequeña escala en el corregimiento del Retiro de Los Indios perteneciente al municipio de Cereté.

2.2 Marco teórico

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2016) “la agricultura es una actividad que presenta una alta vulnerabilidad frente a las variables climatológicas, debido a que depende directamente de las condiciones ambientales, muchas no controlables, que definen en gran medida los niveles productivos y de calidad de los sistemas agro-productivos”. La agricultura cumple un papel fundamental en la economía y en el tejido social de América Latina y el Caribe (Vergara *et al.*, 2014). El Panel Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), enfatiza que para América Latina los riesgos que existen son: a) disponibilidad de agua, b) inundaciones, c) difusión de las enfermedades transmitidas por vectores, d) menor producción de alimentos y e) calidad de alimentos.

De acuerdo con Martínez, Zambrano, Nieto, Hernández y Costa (2017) los impactos climáticos en los años 2015-2016 generaron daños a infraestructuras, reducción de la producción agropecuaria y afectaciones a la matriz energética y productiva. En Ecuador, este impacto se vio reflejado en pérdidas económicas del sector agropecuario con más de dos mil productores afectados y en la disminución de la producción de papa. En Colombia, los cultivos de café, papa y arroz fueron los más afectados, además, causó daños aproximadamente en 90.000 hectáreas de cultivo de café, 50.000 hectáreas de papa y afectaciones en productos como caña de azúcar y cacao (Martínez *et al.*, 2017). Según Quintero *et*

al. (2012), las adaptaciones a la variabilidad climática pueden presentarse en una amplia gama de acciones. Martínez, Viguera, Donatti y Alpizar (2017) plantean algunas prácticas como el sistema *quesungual* y árboles dispersos, coberturas y barreras vivas, árboles sembrados en línea. Así mismo, Álvarez, González, Cifre, Raigón y Gómez (2018) proponen el uso de compostaje, laboreo de suelo, cultivos asociados y sistemas agroforestales.

El concepto de agricultura climáticamente inteligente surgió en el año 2010 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el documento preparado para la Conferencia de La Haya sobre agricultura, seguridad alimentaria y cambio climático bajo la convicción de un cambio en la agricultura en los países en desarrollo para cumplir con los desafíos sobre seguridad alimentaria y el cambio climático. Dinesh *et al.* (2017) afirman que “desde que se acuñó el término "agricultura climáticamente inteligente" en 2010, se ha observado un crecimiento en las estrategias, políticas, asociaciones e inversiones en el área”.

En India, se realizó una investigación estratégica, durante tres años, para evaluar los efectos de la estratificación de tecnologías, prácticas y servicios claves, comparando tres escenarios de prácticas de los agricultores y tres escenarios de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes (Kakraliya *et al.*, 2018). Estos resultados reflejan la oportunidad de estas prácticas agrícolas adaptativas. Con el estudio, se demostró que las prácticas de agricultura climáticamente inteligente altamente adaptativas registraron una productividad y rentabilidad del sistema entre el 19 % y el 26 % más altas, respectivamente en comparación con la práctica de los agricultores; también se tuvo un ahorro en un rango del 17 % al 30 % del agua de riego, mejorando el riego y productividad total del agua en un 29 % a 54 % y en un 21 % a 38 % (Kakraliya *et al.*, 2018) Colombia no es ajena a la implementación de prácticas climáticamente inteligentes en la agricultura. Lo anterior, como una estrategia para enfrentar el cambio climático y sus efectos adversos en el territorio nacional que comprometiéndolo la seguridad y soberanía alimentaria, además de afectar el Producto Interno Bruto del país (PIB)

2.3 Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se aplicó un enfoque mixto, enmarcado en el análisis de datos cualitativos y cuantitativos, con una tipología de estudio analítico descriptivo, caracterizado por el análisis del fenómeno sin ningún tipo de alteración de las variables que lo conforman. La determinación de la práctica agrícola climáticamente inteligente para los pequeños agricultores del Retiro de los Indios, tiene como soporte el análisis de información primaria obtenida de entrevistas y cuestionarios aplicados a pequeños agricultores que contribuyó con el establecimiento de una línea base. En cuanto a la información secundaria, esta se compiló de informes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), reportes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), del Censo Agropecuario del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), informes de la alcaldía municipal y de la gobernación de Córdoba, trabajos de posgrado, artículos científicos en bases de datos Scielo y Dialnet y planes de desarrollo municipal.

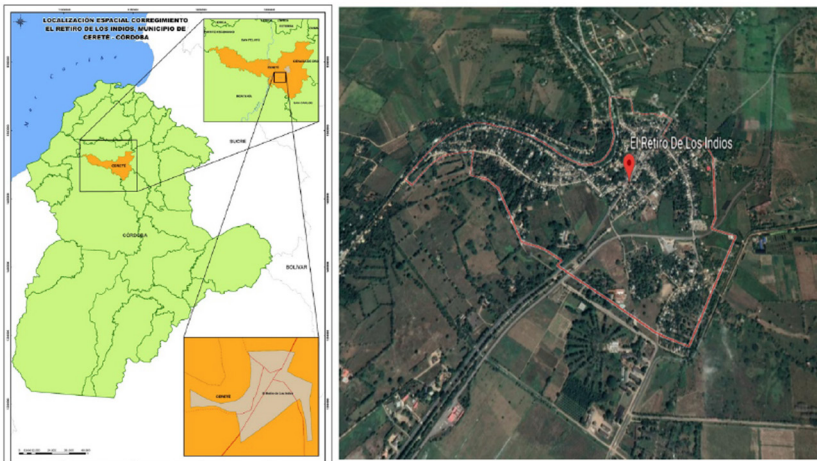
Para la determinación del componente climático, se utilizaron datos de la estación pluviométrica más cercana al área de estudio (estación Turipaná). Con serie multianual continua desde el año 1987 a 2017, con los datos de tres décadas de temporalidad, se realizó un análisis de corte descriptivo para intentar reconocer las variaciones en la precipitación. Para la recopilación de información primaria se diseñó, validó y aplicaron veintiuna entrevistas semiestructuradas, utilizando un muestreo *bola de nieve*, el cual permitió el análisis de aspectos socioeconómicos, percepción del pequeño agricultor frente a los cambios en el clima, los impactos en la agricultura y la identificación de las prácticas adoptadas por los agricultores a partir de su conocimiento tradicional. Mediante la matriz de Holmes se hizo la priorización de las prácticas teniendo en cuenta los criterios: a) viabilidad ambiental, b) viabilidad social y c) viabilidad económica. Se consideró la información obtenida de las fases anteriores para formular la propuesta de implementación de una práctica agrícola climáticamente inteligente.

2.4 Resultados y discusión

2.4.1 Área de estudio

El área de estudio está ubicada en el corregimiento Retiro de los Indios en el municipio de Cereté, departamento de Córdoba, Colombia. Se localiza al suroccidente de la cabecera municipal, limita con tres corregimientos, al norte con Severá, al sur con Venado Campanito, al este con la cabecera municipal y al oeste con Mateo Gómez. Además de contar con las siguientes coordenadas geográficas: $8^{\circ}50'35''\text{N}$ y $75^{\circ}48'24''\text{O}$ (figura 13).

Figura 13. Ubicación corregimiento Retiro de los Indios

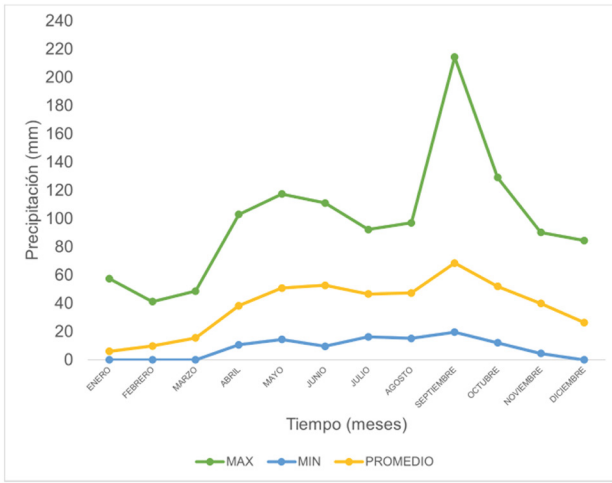


Fuente: Google Earth.

2.4.2 Evidencia de alteraciones de precipitación

Normalmente las anomalías de precipitación se reconocen por tratamiento estadístico de los datos, por identificación los puntos de cambio en grandes temporalidades y mediante la consideración de los eventos asociados a la ola invernal del 2010. Se analizaron datos máximos de precipitación que permitieron identificar la permanencia de la anomalía en un lapso dado (figura 14).

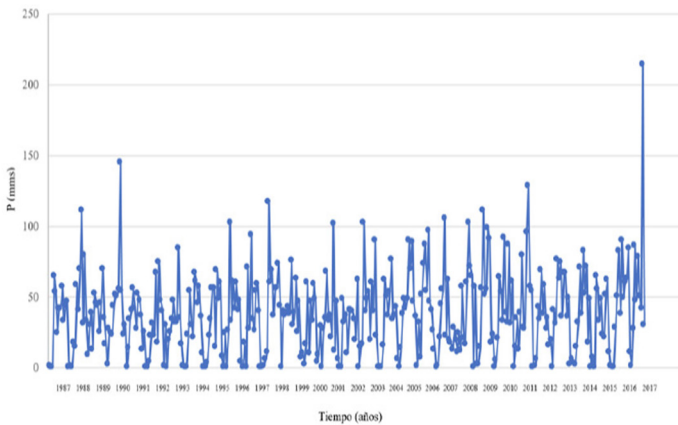
Figura 14. Comportamiento de la precipitación máxima 1987-2017



Fuente: elaboración propia a partir del análisis de datos de precipitación de la estación Turipaná.

Los meses de mayor pluviosidad son mayo y septiembre, el régimen es superior a los 60 mm en la mayor parte del año, entre abril y noviembre. La precipitación decae considerablemente para el último bimestre y en el primer trimestre anual, tiene un ascenso paulatino. Los valores máximos y mínimos que muestra la figura 15 sugieren un comportamiento bimodal para la variable precipitación.

Figura 15. Régimen precipitación máxima multianual estación Turipaná 1987-2017



Fuente: elaboración propia a partir del análisis de datos de precipitación de la estación Turipaná.

La mayor cantidad de precipitación reconocida para el área geográfica del Retiro de los Indios presenta picos anuales de incidencia, desde el inicio del periodo de análisis (1987), los más altos registros están alrededor de 1990 y el 2017, siendo este último el año con mayor precipitación.

2.4.3 Actividad agrícola predominante

Históricamente, el corregimiento Retiro de los Indios es residencia de pequeños productores agrícolas. Según Vilorio (2002), en el año 2000 el municipio contaba con 4.435 unidades de producción agropecuaria, de las cuales el 86 % correspondían a pequeños predios menores de 15 hectáreas, y el Retiro de los Indios contaba con 894 predios, este era el mayor número en comparación con los restantes ocho corregimientos pertenecientes al municipio. Cada corregimiento genera un aporte a la producción agrícola de Cereté. En 2015, el Retiro de los Indios se posicionó entre los corregimientos con mayor área sembrada de cinco cultivos, este fue el único productor de col para ese año (tabla 1).

Tabla 1. Contribución agrícola del Retiro de los Indios en el año 2015

Cultivo	Tiempo de cosecha	Contribución a la agricultura municipal en %
Plátano (<i>Musa balbisiana</i>)	Permanente	10
Col (<i>Brassica oleracea</i>)	Semestres A y B	100
Habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Semestre A	15
Papaya (<i>carica papaya</i>)	Permanente	30
Ají dulce (<i>Capsicum spp</i>)	Semestres A y B	45

Fuente: Gobernación de Córdoba, 2015.

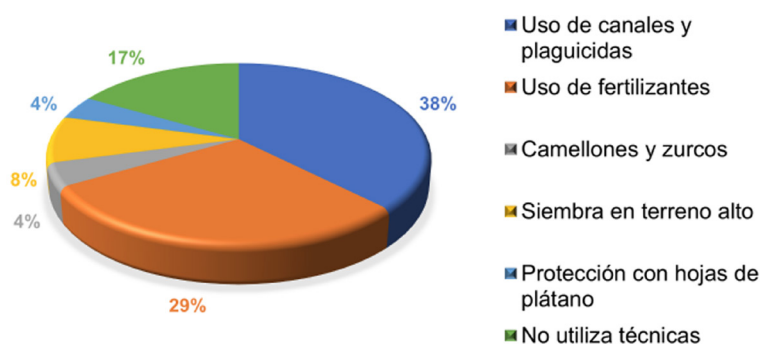
El cultivo de plátano es exigente por su demanda hídrica y alto porcentaje de humedad. Por otro lado, con los cultivos de frutales se puede garantizar una producción por muchos años y sin muchos requerimientos y esfuerzos, los cultivos de habichuela, col y ají demandan altas temperaturas, luz solar, riego y buen drenaje. Una de las bases fundamentales en el desarrollo de las actividades agrícolas es la identificación de los tipos de suelos con los

que se cuentan, esto a fin de conocer las características fisicoquímicas del suelo para garantizar la producción y el rendimiento de los cultivos. Cereté cuenta con suelos tipo fluviolacustre, derivados de terrazas originadas por la sedimentación que trae el río Sinú y por lo cual representa los suelos más fértiles del departamento. Las características de estos suelos parten de la evolución de sedimentos marinos y fluviomarinos dispuestos desde la era terciaria. En la actualidad las arcillas y partículas finas propician el encharcamiento y la riqueza edáfica (Alcaldía de Cereté, 2016).

2.4.4 Medidas de adaptación: reconocimiento desde la percepción del pequeño agricultor

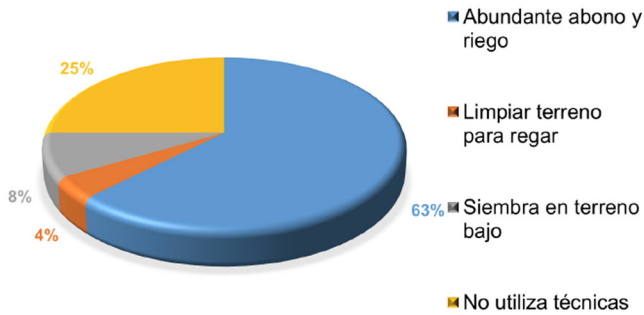
Los pequeños agricultores del Retiro de Los Indios desarrollan sus actividades de agricultura teniendo en cuenta los conocimientos tradicionales. Sin embargo, el cambio en las condiciones climáticas percibido por los agricultores ha hecho que estos hayan adoptado diversas prácticas agrícolas con el propósito de proteger sus cultivos de eventos climáticos imprevistos y extremos, minimizando así las pérdidas (figuras 16 y 17).

Figura 16. Prácticas adoptadas en épocas de lluvias



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Prácticas adoptadas en época de sequía



Fuente: elaboración propia.

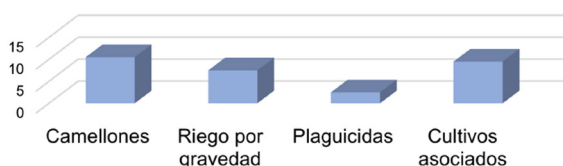
Con la identificación de las prácticas adaptativas tradicionales, se procedió con la priorización y selección de una práctica agrícola como climáticamente inteligente. Para priorizar esas prácticas, se tomaron en cuenta diferentes criterios y subcriterios que, a través de la matriz de Holmes (figura 18) permitieron seleccionar la práctica que mejor se adaptaba a las condiciones socioeconómicas y ambientales de los pequeños agricultores en el área de estudio (figura 19).

Figura 18. Criterios y subcriterios para priorizar práctica agrícola climáticamente inteligente

	Criterios					Total	Orden
	Viabilidad técnica		Viabilidad social	Viabilidad económica			
	Producción mínima	Adaptabilidad	Fácil implementación	Rentabilidad	Fácil acceso a materiales		
Camellones	2,5	3	0	3	2	10,5	1
Riesgo por gravedad	2	2	1	1	1,5	7,5	3
Plaguicidas	0	0	2	0	0,5	2,5	4
Cultivos asociados	1,5	1	3	2	2	9,5	2

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Resultado matriz de Holmes



Fuente: elaboración propia.

La práctica agrícola de camellones resulta como la estrategia óptima para implementar, debido a que ofrece una medida de adaptación para ambos fenómenos climáticos extremos: 1) protección en épocas de máximas precipitaciones evitando la inundación de los cultivos y 2) suministro de recurso hídrico para los cultivos en épocas de sequía.

2.4.5 Propuesta con un enfoque de prácticas climáticamente inteligentes: camellones

La implementación de la técnica de camellones como una práctica agrícola climáticamente inteligente, es una respuesta adaptativa a la variabilidad de la precipitación, que ofrece a las familias campesinas una opción que contribuye a su seguridad alimentaria. La práctica de camellones es una combinación de rehabilitación de suelos marginales, mejora del drenaje, almacenamiento de agua, utilización óptima de la energía radiante disponible y atenuación de los efectos de las heladas. La principal característica de este sistema es la construcción de una red de terraplenes y canales.

Los terraplenes sirven como camas elevadas para la siembra de cultivos, mientras que los canales se utilizan para el almacenamiento de agua y para riego de las plantas. Los suelos utilizados para los terraplenes se compactan para facilitar la retención de agua al reducir la porosidad, la permeabilidad y la infiltración. De acuerdo con el Instituto Nicaragüense de Tecnologías Agropecuarias (2010), la construcción rudimentaria de los camellones consiste en:

- Planificar el tamaño de camellón con la distancia óptima para el cultivo.

- Medir el tamaño del camellón y del surco.
- Ubicar postes en las esquinas. Acordonar entre postes.
- Apilar la tierra dentro del área acordonada y formar el Camellón.

Se señala que la construcción de la cama puede ser en forma de terraplén o camellón y para su instalación se debe considerar el tipo de suelo en el cual se hará el montaje, la distancia de aplicación referente a la altura y ancho, además del cultivo (tabla 2).

Tabla 2. Modo de instalación

	Tipo de suelo	Aplicación
Altura	En general	10 a 20 cm
	Mala infiltración o tierra arcillosa	20 a 30 cm
Ancho	En general	60 a 100 cm (para dos plantas)
Cultivo		Todas hortalizas y frijol etc.

Fuente: INTA, 2010.

2.4.6 Mantenimiento y operación

La reconstrucción periódica de los terraplenes o las camas elevadas es necesaria para reparar el daño causado por la erosión y las tuberías de agua. La reconstrucción generalmente se realiza durante la estación seca pero también se puede inmediatamente y se realiza por lo general cada tres años. El pasto y otras hierbas de diferentes alturas en los terraplenes ayudan a controlar la erosión causada por lluvias torrenciales. Las prácticas de cultivo también pueden dañar los terraplenes. Se debe evitar criar animales cerca de los terraplenes, debido a que pueden afectar las áreas de cultivo en búsqueda de alimentos (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1997).

2.4.7 Sustentabilidad de la práctica

Para la construcción rudimentaria de los camellones se necesitan materiales como escardillas, machetes, rastrillos, azadón, pala y pico.

Estas herramientas son de fácil acceso para los agricultores, son utensilios económicos en el mercado. Además, son de uso básico para desarrollar la agricultura, por lo que algunos agricultores no tendrían que hacer inversión en estos implementos y la reconstrucción de las estructuras se realiza cada tres años. Según Valdez (2006), varios experimentos han demostrado que los camellones tienen relativamente alta productividad y que, bajo una buena administración, pueden dar cosechas sostenidas. Los camellones son una tecnología propia para recuperar áreas inundables y marginales. Además, dicha tecnología es eficiente para el manejo de la fertilidad del suelo y el mejoramiento de la productividad agrícola. Se señala que la productividad depende del mejoramiento y manejo de la fertilidad biológica, física y química de los camellones, así como también dependerá del drenaje, de la subirrigación y de la calidad de semillas (Canahua y Ho, 2003).

2.5 Conclusiones

El corregimiento cuenta con diversas ventajas para el desarrollo de la actividad agrícola: la localización, el terreno con pendientes óptimas que evitan problemas como el deterioro de los suelos y trabajos excesivos para cultivar. Además, tiene suelos con características fisicoquímicas ideales para la explotación agrícola, así como fácil acceso a fuentes de agua superficial y subterránea.

Los pequeños agricultores del Retiro de Los Indios han experimentado cómo, en los últimos 30 años, las condiciones climáticas han cambiado y cómo esto ha afectado su entorno produciendo pérdidas y bajo rendimiento de los cultivos. Para los agricultores, la ola invernal 2010-2011 fue un evento que los impactó de forma significativa y se derivó un cambio en sus condiciones económicas y ambientales.

Las prácticas agrícolas climáticamente inteligentes son una alternativa enfocada principalmente a la pequeña agricultura. Estas prácticas agrícolas adaptativas a los cambios en el clima permiten disminuir la vulnerabilidad de estos pequeños agricultores, así como el asegurar o garantizar la seguridad alimentaria de las familias campesinas.

La práctica agrícola de camellones es ancestral, de fácil aplicación y brinda las mejores condiciones para garantizar la producción de los cultivos de los pequeños agricultores del corregimiento. Esta representa una medida adaptativa para épocas de sequía y épocas de lluvias, además de ser económicamente viable, proporciona las condiciones óptimas para desarrollo de cultivos, máximo aprovechamiento de recurso hídrico y protección de suelo.

Referencias

- Alcaldía de Cereté. (2016). Plan de desarrollo 2016-2019. <https://cpd.blob.core.windows.net/test1/23162planDesarrollo.pdf>
- Álvarez, A., González, V., Cifre, H., Raigón, M. D. y Gómez, M. (2018). *Prácticas agroecológicas de adaptación al cambio climático: estudio-diagnóstico*. Sociedad Española de Agricultura Ecológica.
- Banco Mundial, Centro Internacional de Agricultura Tropical y Centro Agrónomo Tropical de Investigación y Enseñanza . (2015). *Agricultura climáticamente inteligente en Colombia: consideraciones respecto a la agricultura climáticamente inteligente (CSA)*. Grupo del Banco Mundial.
- Canahua, A., y Ho, R. (2003). Reintroducción del agroecosistema de los waru waru. *Leisa*, 19(2), 25-27. <http://www.leisa-al.org/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2012). *Valoración de daños y pérdidas: Ola invernal en Colombia 2010-2011*. Misión BID; Cepal.
- Dinesh, D., Aggarwal, P., Khatri-Chhetri, A., Loboguerrero, A., Mungai, C., Radeny, M., Sebastian, L. y Zougmore, R. (2017). The rise in Climate-Smart Agriculture strategies, policies, partnerships and investments across the globe. *Agriculture for Development*, 30(30), 4–9. <https://ccafs.cgiar.org/es/node/54552#.Xsb7c2hKjIU>
- Instituto Nicaraguense de Tecnologías Agropecuarias. (2010). Proyecto de difusión de tecnología en agricultura sostenible a pequeños agricultores de Nicaragua. https://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/47_instrucciones_04.pdf
- Kakraliya, S., Jat, H., Singh, I., Sapkota, T., Singh, L., Sutaliya, J., Sharma, P., Jat, R., Choudhary, M., López, R., y Jat, M.(2018). Performance of portfolios of climate smart agriculture practices in a rice-wheat system of western Indo-Gangetic plains. *Agricultural Water Management*, (202), 122–133. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.020>

- Martínez, M. R., Viguera, B., Donatti, C., y Alpizar, F. (2017). Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: prácticas de adaptación basadas en ecosistemas (ABE). <https://www.conservation.org/>
- Martínez, R., Zambrano, E., Nieto, J. J., Hernández, J. y Costa, F. (2017). Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. *Investigaciones Geográficas Instituto Interuniversitario de Geografía Universidad de Alicante*, 68, 65-78. <http://rua.ua.es/>
- Melo, S., Riveros, L., Otalora, G., Álvarez, A., Díaz, C. y Calderón, S. (2017). *Efectos económicos de futuras sequías en Colombia estimación a partir del fenómeno El Niño 2015*. Departamento Nacional de Planeación
- Muñoz, O. (2015). Análisis de los efectos del fenómeno climático de La Niña en Colombia a la luz del actual modelo de gestión integral del riesgo. <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/2172>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2018). Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe: gestión del riesgo de desastres en el sector agrícola. Santiago: FAO. <http://fao.org/publications>
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. (2014). Cambio climático 2014 impactos, adaptación y vulnerabilidad. <https://archive.ipcc.ch>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (1997). Fuente de alternativas para el aumento de agua dulce en América Latina y el Caribe. <http://www.pnuma.org/publicaciones.php>
- Quintero, M., Escobar, Y. C. y Aldunce, P. (2012). Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo. *Luna Azul*, 34, 257-271. <http://lunazul.ucaldas.edu.co/>
- Valdez, F. (2006). Agricultura ancestral camellones y albarradas. <http://abyayala.org/>
- Vergara, W., Ríos, A., Trapido, P. y Malarín, H. (2014). Agricultura y clima futuro en América Latina y el Caribe: impactos sistémicos y posibles respuestas. <https://publications.iadb.org/>
- Viloria, J.(2002). Cereté: municipio agrícola del Sinú. <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER26-Cerete.pdf>

Capítulo 3.

Análisis integrado del territorio: caso Ciénaga de Betancí, municipio de Montería

Duberney Londoño Hernández¹²

Jorge Villadiego Lorduy¹³

Julio César Anaya Peña¹⁴

Pedro Luis Payares Ramos¹⁵

Ómar Díaz Hernández¹⁶

Saidy Pérez Hoyos¹⁷

Resumen

El presente estudio llevó a cabo un análisis integrado del territorio de la Ciénaga de Betancí, ubicada en Montería, Colombia. La caracterización socioeconómica y ambiental generada a partir de la aplicación de cuestionarios y análisis estadísticos descriptivos, permitió la identificación de los diferentes actores y conflictos que han impulsado la transformación del humedal, encontrándose que la ganadería y la manipulación hidrológica han sido los principales. El análisis multitemporal de imágenes satelitales tipo Landsat de los periodos de 1980, 1990, 2000 y 2018 mediante la metodología Corine Land Cover, permitió identificar los cambios

12 Ingeniero sanitario y ambiental. Consultor ambiental. Correo: duberneyd@hotmail.com

13 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph. D. en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Correo: jorge.villadiegol@upb.edu.co

14 Ingeniero sanitario y ambiental. Consultor ambiental. Correo: julioanaya.p@hotmail.com

15 Ingeniero sanitario y ambiental. Director Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

16 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Msc. en Estadística. Correo: omar.diazh@upb.edu.co

17 Estudiante del programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en la Universidad Pontificia Bolivariana. Correo: saidy.perez@upb.edu.co

surgidos históricamente en la cobertura del suelo, así como la transformación del paisaje al aplicárseles el modelo matriz, parche, corredor. Llegando a la conclusión de que la ciénaga se convirtió en un reservorio de agua y que ha perdido, casi en su totalidad, la cobertura natural.

Palabras clave: humedal; paisaje; ecosistema; cobertura; monocultivo.

Abstract

In this study he carried out an integrated analysis of the territory of the Ciénaga de Betancí, located in Montería, Colombia. The socio-economic and environmental characterization, generated from the application of questionnaires and descriptive statistical analysis, allowed the identification of the different actors and conflicts that have driven the transformation of the wetland, finding that livestock and hydrological manipulation have been the main ones. The multi-time analysis of Landsat-type satellite images from the periods 1980, 1990, 2000 and 2018 using the Corine Land Cover methodology, identified changes in soil coverage historically, as well as landscape transformation by applying the matrix, patch, corridor model. Concluding that the swamp became a reservoir of water and that it has almost entirely lost natural coverage.

Keywords: wetland; landscape; ecosystem; coverage; monoculture.

3.1 Introducción

Los humedales son considerados uno de los tipos de ecosistemas más productivos que existen, debido a la presencia constante o temporal de agua a lo largo de todo el año, lo que posibilita la formación de ambientes intermedios que varían entre permanentemente inundados y normalmente secos, permitiendo así, el sustento de una gran diversidad biológica que incluye amplia variedad de flora, fauna y microorganismos (Castellanos, 2006). No obstante, a pesar del gran valor ecológico de los humedales, históricamente, debido a la falta de conocimiento y la poca protección por parte de las autoridades ambientales y las comunidades

en general, son también uno de los ecosistemas que más aceleradamente se han degradado y desaparecido y son las actividades económicas y el asentamiento humano algunos de los principales factores responsables de este proceso (Davidson, 2014).

Colombia, por su posición continental, es considerado uno de los cuatro países con mayor disponibilidad de recursos hídricos del planeta, pues cuenta con dos grandes extensiones de agua marina que bañan las costas Pacífica y Caribe, con innumerables sistemas de agua dulce, que nutren cada rincón de la geografía colombiana (Castellanos, 2006). Es por esto que, frente a la problemática que están sufriendo los humedales, se han desarrollado políticas que procuran protegerlos, como lo enuncia la Ley 99 de 1993 relacionada con la formulación, concertación y adopción de políticas orientadas a regular las condiciones de conservación y manejo de ciénagas, pantanos, lagos, lagunas y demás ecosistemas hídricos continentales (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Sin embargo, dichas políticas, por lo general son ineficientes al momento de ser llevadas a la práctica. El departamento de Córdoba no es ajeno a toda esta problemática que vienen sufriendo los humedales, en su mayor parte por actividades antrópicas, como también por aspectos relacionados con la ampliación en el número de haciendas, lo cual consolida más el comercio ganadero y causa más perjuicio al deteriorar las fuentes de aguas. Para el caso específico de la ciénaga de Betancí, se ha hallado por parte de la autoridad ambiental competente, la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS), un alto grado de alteración por la manipulación de los regímenes hidrológicos, la antropización y la desaparición de áreas importantes del humedal por apropiación del suelo. Finalmente, la importancia de este estudio va enfocada en brindar una panorámica general sobre el estado real de la ciénaga de Betancí, se identifican, a la vez, aquellos aspectos estratégicos para su mejora y conservación. Este trabajo se convierte así en una herramienta importante para el desarrollo de futuros programas de intervención dentro de la ciénaga estudiada o de otras ciénagas que puedan estar sufriendo alteraciones similares en su área.

3.2 Marco teórico

En la actualidad, son varios los mecanismos que buscan ejercer una gestión sostenible en ecosistemas estratégicos como lo son los humedales, esto se ha visto evidenciado en las políticas nacionales e internacionales. Una de las más conocidas internacionalmente es la convención RAMSAR, la cual compromete a los países a manejar de manera sostenible y racional algunos humedales de importancia internacional (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992). Según el Instituto Humboldt (2014) existen alrededor de 3.783 documentos nacionales sobre humedales, los cuales han sido de gran utilidad para ampliar el conocimiento acerca de estos y permiten tener una idea más clara de cómo es su comportamiento, el estado actual y las posibles medidas para evitar que estos se sigan deteriorando con el transcurso del tiempo, sobre todo aquellos que ya se encuentran en peligro. Es de saber que el crecimiento demográfico inevitablemente generará cambios en el paisaje, lo cual implica variaciones en los ciclos ecológicos, al ser deteriorados ambientalmente, por lo que se hacen necesarios estudios multidisciplinarios que constituyan un análisis integrado del territorio, para así comprender todos los procesos que se dan en el ecosistema, y poder corregir o mitigar daños ambientales (Etter, 1991).

Dado que estos procesos de expansión demográfica se han intensificado en el último siglo, el ritmo de desaparición y degradación de ecosistemas como los humedales también se ha visto acelerado. Según la séptima nota informativa de la Ramsar (2015) se calcula que la extensión mundial de humedales se ha reducido entre un 64 % y un 71 % desde el siglo XX y que dicha tendencia negativa continúa, por lo que cada vez es más importante realizar estudios sobre estos. En el departamento de Córdoba se han realizado investigaciones de este tipo, por ejemplo, el estudio realizado a la ciénaga de Corralito, el cual analizó el estado del humedal mediante una caracterización social, económica y natural que evidenció el deterioro ambiental de la ciénaga por la desecación, construcciones invasivas, parcelación, deforestación y explotación agropecuaria insostenible (Villadiego, Piedra, Tapia, Méndez y Díaz, 2018).

Por otra parte, para el caso específico del área de estudio, la CVS formuló el Plan de Manejo Ambiental de la Ciénaga de Betancí (2014). Dicho estudio realizó una caracterización de los componentes bioecológicos,

hidrológicos, socioeconómicos y culturales, así como la identificación de actores y conflictos que afectan estos componentes, con el fin de diagnosticar y, posteriormente, hacer prospectivas respecto al posible futuro de la ciénaga. Sin embargo, no se hizo un análisis claro sobre la dimensión del grado de deterioro que se presenta y sus implicaciones sobre las funciones ecosistémicas, lo cual se lograría evidenciar de manera más precisa mediante un análisis multitemporal y un estudio del paisaje (modelo matriz, parche, corredor) aspectos sí incluye el presente estudio.

3.3 Metodología

El análisis integrado del territorio de la ciénaga de Betancí se fundamentó en la indagación de información primaria y secundaria. La información secundaria se conformó de investigaciones previas realizadas por la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge en el área de estudio (Diagnóstico y plan de manejo ambiental 2014, entre otros). En cuanto a información geográfica, se obtuvo un análisis de imágenes satelitales tipo Landsat a través del software ArcGIS 10.3, para las temporadas secas de los años 1980, 1990, 2000 y 2018, para reconocer la transformación de espacios temporales de la cobertura del suelo en la ciénaga de Betancí. De igual forma, se aplicó el modelo matriz, parche, corredor a estos mismos periodos con el fin de identificar los cambios surgidos en la estructura del paisaje.

Para el caso de la información primaria se empleó un cuestionario de 30 ítems, el cual se aplicó a una muestra aleatoria de 233 viviendas que eran influencia directa en la ciénaga. El cuestionario se encontraba dividido en cuatro secciones que buscaban identificar diferentes aspectos como la conformación del núcleo familiar, las características socioeconómicas, de las viviendas y la percepción y cultura ambiental. De manera análoga se realizaron entrevistas a varios pobladores de la región, con el fin de obtener una reseña histórica sobre la transformación y los eventos ocurridos en el área de estudio, con el propósito de realizar conjeturas entre la dinámica previamente analizada en el estudio multitemporal y los sucesos socioeconómicos descritos por los habitantes de la región. La aplicación y desarrollo del análisis estadístico de los cuestionarios, se diseñó por muestreo aleatorio simple, tomando como referencia

del total de predios, información facilitada por el centro médico de la zona. Asociado a esto, como técnica de investigación se realizó el correspondiente trabajo de campo durante el mes de agosto de 2019, con el fin de identificar y verificar las problemáticas ambientales y socioeconómicas presentes en el área de estudio.

3.4 Resultados y discusión

3.4.1 Área de estudio

El área de estudio designada para la presente investigación fue la ciénaga de Betancí, ubicada en el departamento de Córdoba, Colombia. Entre las coordenadas $75^{\circ} 53' 04,91''$ N y $75^{\circ} 48' 18,63''$ W, limita al norte con el corregimiento de San Anterito, Tres Palmas, Tres Piedra y Nueva Lucía, al oriente con el corregimiento de Nueva Lucía, al occidente con el corregimiento de Tres Piedras y al sur con el corregimiento de Tres Piedras y Nueva Lucía (figura 20).

Figura 20. Ubicación del área de estudio



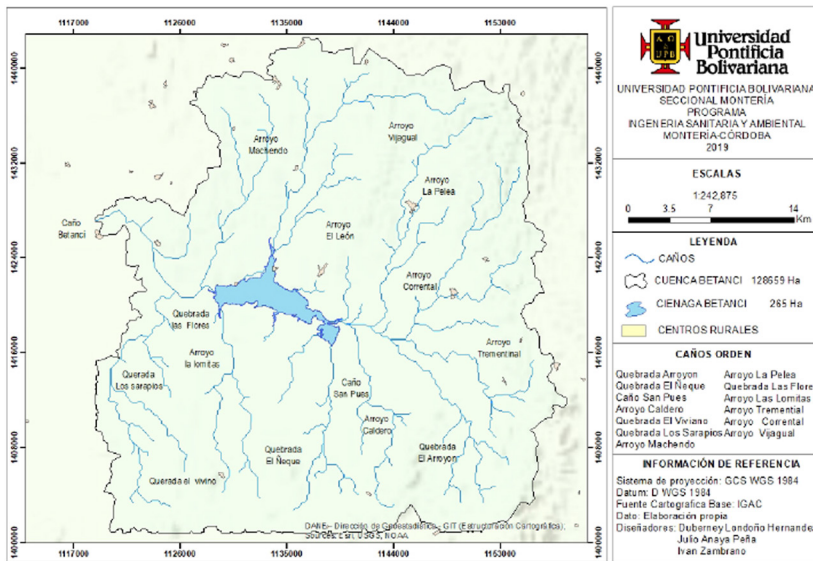
Fuente: Modificado de Gómez y Ochoa (2009).

3.4.2 Características fisicobióticas

El área de la cuenca que comprende a la ciénaga de Betancí posee 128.669 ha, de las cuales 2.065 ha conforman el espejo de agua el cual recibe aporte

hídrico de un gran número de afluentes, cuya red de drenaje es bastante particular. Entre los principales tributarios de la ciénaga se encuentran los arroyos Los Pegados, El León, Caño Vieja, Las Fuentes, Viagual, Las Lomitas y las quebradas Arroyoncito (CVS, 2014). De acuerdo con los registros climáticos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el promedio mensual de precipitaciones es aproximadamente 170 mm con una temperatura media anual de 27,2 °C, no hay mucha diferencia entre su temperatura más alta y más baja. En cuanto al relieve de la cuenca de este humedal, es plano, formado por suelo de tipo arcilloso, cuya cobertura principalmente se compone de pastizales pobres. Hidrológicamente, la ciénaga de Betancí funciona como un reservorio de agua, recibe solo aportes de las precipitaciones y afluentes que posee, las pérdidas se dan solo por evaporación e infiltración. La calidad del agua es variable, sin embargo, según el índice de calidad de agua (ICA) realizado para el desarrollo del plan de manejo ambiental de la Ciénaga (CVS, 2014) esta aún se considera de calidad media (figura 21).

Figura 21. Cuenca de la ciénaga de Betancí



Fuente: elaboración propia.

3.4.3 Caracterización socioambiental de la ciénaga de Betancí

La cuenca de la ciénaga en su totalidad cubre los corregimientos de Tres Piedras, Nueva Lucía y Tres Palmas, con las respectivas veredas. Dentro de estas comunidades se pueden diferenciar aquellas que tienen influencia directa en la ciénaga pues habitan cerca a sus orillas y ejercen sus actividades en la misma zona. En la caracterización socioambiental de la ciénaga de Betancí, se identificó la falta de intervención por parte del Estado en las vías las cuales presentan grandes baches y se encuentran en su mayor parte deterioradas al no estar pavimentadas, lo que dificulta la movilidad en temporadas de lluvia, con lo cual, el comercio de diferentes tipos de fruta, vegetales y ganado de la región se ve obstaculizado.

La zona se compone principalmente de grandes fincas dedicadas a la ganadería y, en algunos casos, al cultivo de palma africana, así como de especies maderables como teca y acacia, por lo que se evidencian regiones afectadas por procesos de erosión, compactación y pérdida de cobertura vegetal, en menor proporción se presentan cultivos de pancoger como la yuca, el maíz y el arroz, quedando por ende muy pocas regiones con cobertura de vegetación boscosa natural.

En cuanto a la composición de las viviendas, se presentan condiciones precarias, son comunes las casas construidas en bahareque, guadua o madera, en su mayoría con piso de tierra y, en general, condiciones de habitabilidad inadecuada. Con servicios básicos precarios al presentar la inexistencia de alcantarillado y servicio de red de agua potable, lo que representa un indicador pobreza y poca calidad de vida. La mayor parte de la población de la ciénaga de Betancí son personas de la tercera edad (61 %), las cuales han habitado en la región la mayor parte de su vida. También se halló un bajo índice de escolaridad, solamente el 21,80 % culminó sus estudios de secundaria, mientras que un 38,2% la dejó inconclusa, en cuanto al resto de la población, cursó apenas primaria (40 %), un 27 % ni siquiera la finalizó, todo ello dificulta las condiciones laborales y de vida.

En el aspecto económico del núcleo familiar, predomina los oficios informales que proporcionan los recursos para la subsistencia diaria, oficios relacionados con actividades como jornaleo, pesca, cría de

animales de corral, mototaxismo, entre otras actividades, que además de no ser bien remunerados, ni estables, ocasionan que los ingresos sean inferiores a un salario mínimo legal vigente (USD 254). Por la poca presencia de entes gubernamentales y falta de organización, las personas se ven impedidas de participar activamente en programas que mejoren las condiciones de la región, razón por la cual las problemáticas de calidad de vida y sus modelos de sustento, no cambian, a pesar de que actualmente se dificulten actividades como la pesca y agricultura. Por lo tanto, existe resistencia a cambiar sus modos de vida y a gestionar soluciones a sus problemáticas.

Dentro de la identificación de los actores, se tienen los institucionales, como son CVS y alcaldía; mientras que los actores sociales se componen de las comunidades aledañas a la ciénaga y de los grupos armados al margen de la ley, así como los actores económicos representados por grandes terratenientes, que desempeñan sus actividades ganaderas, monocultivos y construcciones invasivas dentro y alrededor del humedal.

3.4.4 Dinámica espacial y problemas ambientales de la ciénaga de Betancí

Para el estudio de los cambios espaciotemporales ocurridos en la ciénaga, se implementó el análisis de imágenes satelitales tipo Landsat para las épocas de verano de los años 1980, 1990, 2000 y 2018 (figura 22) mediante la metodología Corine Land Cover, usando información cartográfica a una escala de trabajo 1:100.000, con el fin de identificar el proceso de transformación.

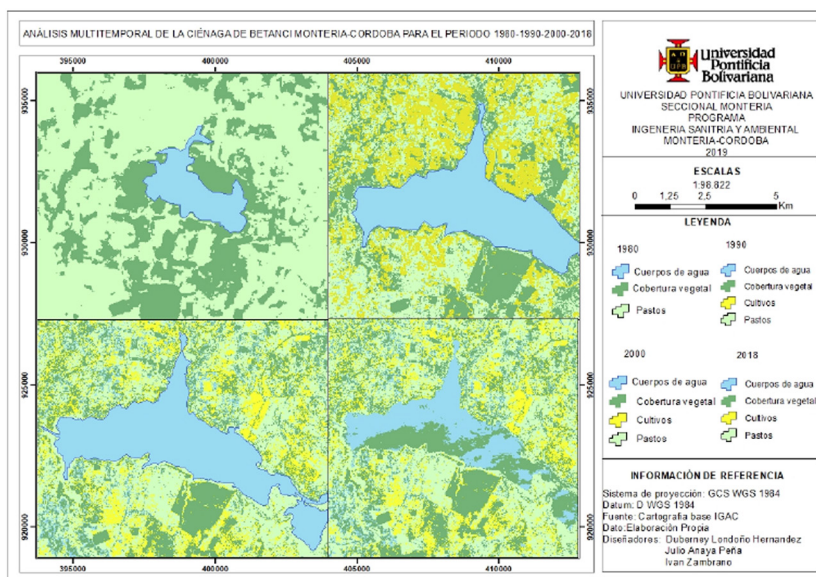
- Para el año 1980, la cobertura vegetal circundante se componía principalmente de bosque húmedo y seco tropical, se presentaba así una alta biodiversidad de fauna y flora, con poca fragmentación del ecosistema. La dinámica hidrológica de la ciénaga presentaba periodos normalmente secos en verano, en los que la profundidad del humedal alcanzaba alrededor de 45 cm y en periodo de lluvias un área de 970 ha.
- En 1990, la mayoría de los bosques naturales de la ciénaga eran cultivos estacionarios de cereales (maíz, arroz y trigo), tubérculos (yuca y papa), algodón y frijol, aparecían también zonas destinadas

a la ganadería, pero en mucha menor proporción. Aquellas zonas en donde predominaba el bosque natural primario fueron las más intervenidas, lo cual deterioró la calidad del agua del humedal por uso de fertilizantes y agroquímicos.

- Hacia el año 2000, se da un punto de inflexión, el crecimiento agrícola pasó a segundo lugar, y la ganadería se convirtió en la principal actividad de la región, este nuevo cambio en el uso del suelo trajo consigo ciertas implicaciones negativas al cambiar la cobertura del suelo, ya que el proceso de adecuación de las grandes extensiones de potreros conllevó a la aceleración de la tala de bosque principal y secundario lo que afectó toda la biodiversidad.
- En relación con 2018, la ganadería extensiva seguía siendo la principal actividad económica de la región, sin embargo, debido a los precios fluctuantes de la carne y la leche ha aparecido como nueva alternativa económica, el cultivo de grandes extensiones de palma africana, acacio y teca, lo que ha empeorado las problemáticas antes mencionadas, debido a la demanda de recurso hídrico de la ciénaga y la infertilidad del suelo causada por este tipo de cultivos. Por último, se identificó que, entre los principales actores de los conflictos ambientales existentes en el humedal, se encuentran los grandes terratenientes quienes han usado los suelos para vocación ganadera y monocultivos, por otra parte, grupos al margen de la ley han modificado la dinámica hídrica del humedal, construyendo terraplenes, el principal es el ubicado en el caño Betancí, el cual conectaba a la ciénaga con el río.

El adecuamiento de pastizales para ganadería y la desconexión con el río, han provocado que, por una parte, la ciénaga funcione más como reservorio de agua, al no darse las pulsaciones hídricas naturales con el río en invierno y verano; mientras que, simultáneamente, el suelo de la cuenca se ha visto sometido a un proceso fuertemente erosivo debido al pisoteo del ganado y a los monocultivos.

Figura 22. Análisis multitemporal ciénaga de Betanci

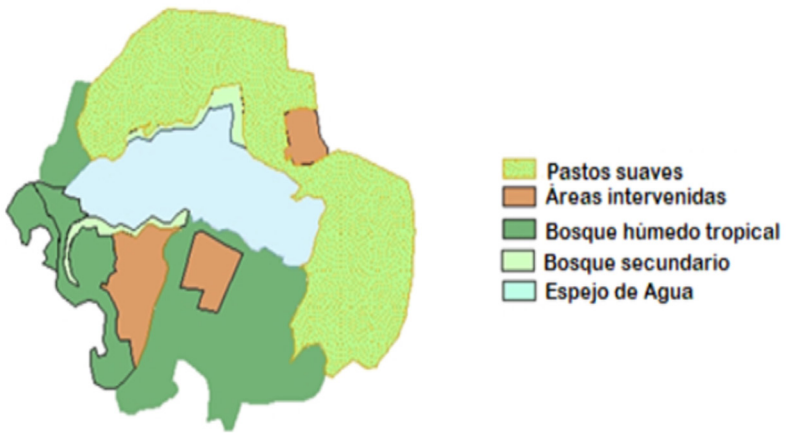


Fuente: elaboración propia.

3.4.5 Modelo matriz, parche, corredor

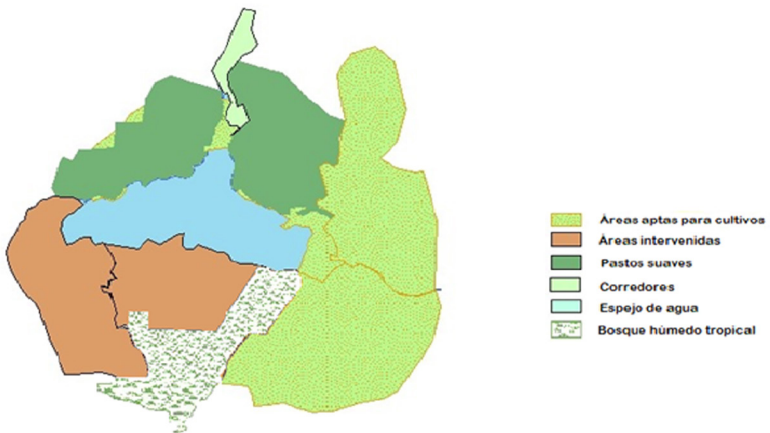
Para el año 1980, la cobertura predominante se componía de bosque húmedo tropical que conformaba el 39,15 % del paisaje, seguida de pastos suaves 33,99 % usados para cultivos y ganadería a pequeña escala, mientras que el área con mayor intervención correspondía al 7,9% la cual se conformaba de cultivos y ganadería más intensiva, por otra parte, el espejo de agua componía el 17 % del paisaje (figura 23). En 1990 se aprecia la transición entre el bosque húmedo tropical y las áreas dedicadas al cultivo, se redujo su cobertura en un 18,47 %, la nueva matriz se conforma de las áreas intervenidas, es decir aquellas en transición de convertirse en área ganadera o de cultivo, la reducción del bosque conllevó al cambio parcial de la dinámica hidrológica y se produjo un crecimiento en el espejo de agua alcanzando las 1076 ha (figura 24).

Figura 23. Mosaico del paisaje, 1980



Fuente: elaboración propia.

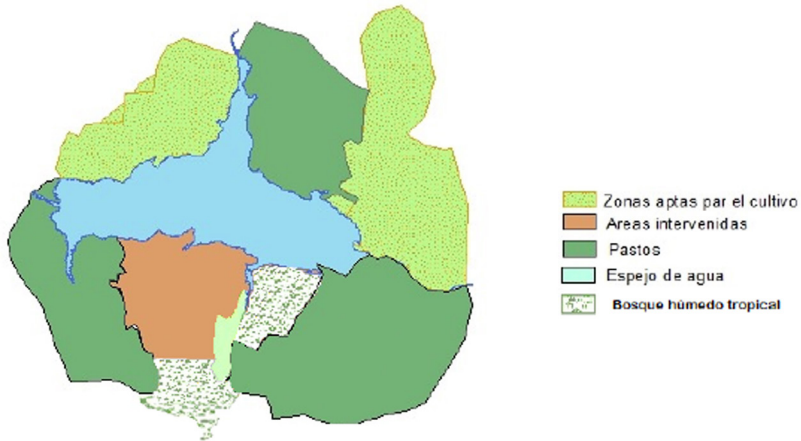
Figura 24. Mosaico del paisaje, 1990



Fuente: elaboración propia.

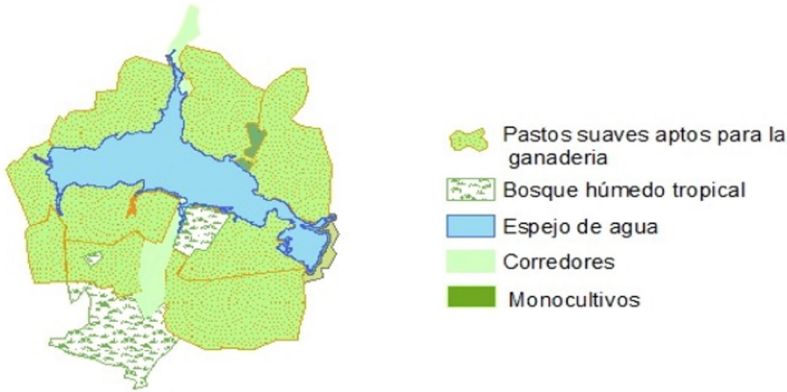
Para el año 2000, la cobertura predominante era de pastos suaves con un porcentaje de 38,82 %, esta era la nueva matriz del paisaje y se evidenciaba la reducción del bosque húmedo tropical (9,25 %) con respecto a la década anterior. Es importante también mencionar que para este año finalizó la construcción de un terraplén que, al taponar el caño principal de conexión con el río, modificó la dinámica hidrográfica de la ciénaga (figura 25). Referente a 2018, la actividad económica predominante se convirtió en la ganadería, se transformaron los suelos aptos para cultivos en potreros, y esto ocasionó fuertes impactos en la biodiversidad y en la estructura del suelo, los parches de bosque húmedo tropical se redujeron a un 11,3 % del terreno. El espejo de agua aumentó debido al taponamiento de la ciénaga y alcanzó las 2.065 ha; en esta época aparecen también monocultivos como *Elaeis guineensis*, acacia *mangium* y *Tectona grandis* (palma africana, acacia y teca), los cuales conllevan implicaciones negativas al tener una alta demanda de recursos hídricos y afectar la fertilidad del suelo debido al requerimiento de nutrientes (figura 25).

Figura 25. Mosaico del paisaje, 2000



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Mosaico del paisaje, 2018



Fuente: elaboración propia.

3.4.6 Construcción de escenarios

Una vez realizada la caracterización fisicobiótica, la dinámica espacial y la identificación de la problemática socioambiental de la ciénaga, se procedió a la formulación de los posibles escenarios futuros a los cuales puede estar sometido el humedal (tabla 3).

Tabla 3. Formulación de escenarios referentes a la ciénaga de Betancí

Situación actual de la ciénaga de Betancí	Primer escenario: ciénaga de Betancí. Previsible
El uso indiscriminado de los recursos naturales renovables (agua, suelo, fauna y flora), ha provocado una degradación generalizada del ecosistema que se traduce en pérdida de la biodiversidad a causa de la fragmentación del ecosistema.	De continuar el crecimiento del sector ganadero, la degradación generalizada del ecosistema continuará, debido a la conversión de más zonas en potreros, compactación y erosión del suelo acompañado de la contaminación del recurso hídrico derivadas de esta actividad.
Las actividades antrópicas (ganadería y cultivos comerciales) generan una contaminación permanente del recurso agua y suelo.	El aporte constante de sedimentos hará que la ciénaga pierda cada vez más profundidad, ocasionando a largo plazo la desaparición de la misma, mientras que a corto y mediano plazo la concentración de materia orgánica depositada creará condiciones anoxias.
Pérdida de los servicios ecosistémicos que brindaba la ciénaga, debido a la alteración de su dinámica hidrológica.	

Situación actual de la ciénaga de Betancí	Primer escenario: ciénaga de Betancí. Previsible
<p>Necesidades básicas insatisfechas (NBI) relacionadas a la deficiencia y poca cobertura de saneamiento básico.</p> <p>Poca actividad económica debido a la poca diversidad de actividades de este tipo.</p> <p>Poca gestión por parte de la comunidad para el aprovechamiento sostenible de la ciénaga.</p> <p>Bajos niveles educativos de la comunidad en general. Carencia de conocimiento de prácticas de producción sostenibles en el humedal.</p>	<p>Debido a la menor profundidad de la ciénaga, el desbordamiento de esta será cada vez más frecuente y a mayor escala.</p> <p>Los constantes vertimientos de residuos sólidos y líquidos en la ciénaga debido a la inexistencia de saneamiento básico, provocará una notable pérdida de la calidad del agua.</p> <p>El cultivo de especies foráneas comerciales, debido a su alta demanda de recurso hídrico, contribuirá a la desaparición de la ciénaga, así como a la degradación del suelo debido a su exigencia de nutrientes.</p>
Segundo escenario: posible futuro de la ciénaga	Áreas específicas de intervención para lograr este escenario
<p>Mejora de la accesibilidad a esta región. Desarrollo de actividades ecoturísticas, con la permanencia de la “Tapa”, debido a que la remoción de esta conlleva riesgos de inundación para las comunidades ya establecidas en la zona.</p> <p>Inversión, capacitación y acompañamiento por parte de la CAR para el desarrollo de actividades agropecuarias dirigidas a las poblaciones con mayor vulnerabilidad. Implementando sistemas combinados de producción. Protección de la biodiversidad enfocada en las especies con algún grado de amenaza existente.</p> <p>Mayor apropiación por parte del departamento en la gestión de este ecosistema.</p>	<p>Conformación de mesas de trabajo entre los presidentes de la junta de acción comunal de las veredas aferentes a la ciénaga y representantes del gobierno municipal. Con el fin de establecer acciones prioritarias para el desarrollo.</p> <p>Proporcionar la implementación de nuevas formas de prácticas agropecuarias más sostenibles.</p> <p>Fortalecimiento en la gestión y control de la ciénaga por parte de las entidades ambientales.</p> <p>Articulación entre los diferentes sectores económicos para el fortalecimiento del sector turístico y productivo. Mejor seguimiento e implementación de lo establecido como área de conservación de suelos.</p>

Tercer escenario: estado deseable de la ciénaga	Áreas estratégicas de intervención de la ciénaga
<p>Clasificación como área de restauración.</p> <p>Uso de actividades agropecuarias, implementación de sistemas combinados de producción más sostenibles.</p> <p>Diseño de sistemas de saneamiento básico.</p> <p>Control del uso indiscriminado del recurso hídrico.</p> <p>Adopción de procesos de ganadería silvopastoril o regenerativa.</p>	<p>Intervención por parte de las autoridades ambientales.</p> <p>Intervención más directa por parte de las autoridades ambientales y el Gobierno. Implementación de medidas respecto al uso del suelo dentro del Plan de Ordenamiento Territorial (POT).</p> <p>Gestión por parte de la población de los recursos mediante mesas de trabajo. Sector ganadero.</p>
<p>Procesos de reforestación en aquellas áreas más afectadas de la ciénaga.</p>	

Fuente: elaboración propia.

3. 5 Conclusiones

La ciénaga de Betancí, al perder su conexión con el río Sinú que se daba por el caño Betancí y que fue bloqueada por un terraplén (tapón), sufrió la pérdida de su dinámica hidrológica natural, marcada por pulsos hídricos en los que se presentaban periodos de inundación y sequía, ello ha ocasionado que el humedal se convierta en un reservorio de agua.

Las nuevas características de la ciénaga como reservorio de agua, conlleva una gran problemática debido a que el aporte de sedimentos por parte de los caños tributarios y de escorrentía, no fluyen hacia ninguna parte, colmatándose así la ciénaga.

El principal impulsor del deterioro ambiental de la ciénaga es, sin duda alguna, la actividad ganadera, el bosque húmedo y seco tropical que componía el ambiente natural de este paisaje casi en su totalidad ha sido reemplazado por pastos suaves para el pastoreo.

La aparición de los cultivos de palma africana, teca y acacia en los alrededores de la ciénaga, representan una de las mayores preocupaciones

para su futuro, de continuar el crecimiento de este tipo de cultivos, el suelo quedara inutilizable al perder la capacidad de regeneración.

Para poder mejorar las condiciones ambientales de la ciénaga, es vital atender las necesidades socioeconómicas de los habitantes de la región, aspectos como la inexistencia de saneamiento básico, las pocas oportunidades económicas y la falta de educación, son algunas de las principales razones por las cuales se ha intensificado la contaminación y explotación insostenible de este humedal.

La falta de intervención por parte de la autoridad ambiental y del Estado ha sido uno de los aspectos más negativos en cuanto a la intensificación del deterioro, alteración y explotación desmedida de la ciénaga.

Referencias

- Castellanos, C. (2006). Los ecosistemas de humedales en Colombia. http://lunazul.ucaldas.edu.co/index2.php?option=com_content&task=view&id=171&I
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. (2014). *Plan De Manejo Ambiental, Ciénaga De Betancí*. CVS.
- Davidson, N. (2014). How Much Wetland Has The World Lost? Long Term And Recent Trends In Global Wetland Area. *Marine And Fresh Water Reseach*, 65, 935-941.
- Etter, A. (1991). *Introducción a la ecología del paisaje: un marco de integración para los levantamientos ecológicos*. IGAC.
- Gardner, R. (2015). *State Of The World's Wetlands And Their Services To People: A Compilation Of Recent Analyses (Ramsar Briefing Note 7)* Ramsar Convention Secretariat.
- Gómez, P y Ochoa, L. (2009). Composición y dinámica temporal del coleóptero fauna asociada a plantas vasculares acuáticas de la ciénaga de Betancí, Córdoba, Colombia. (Trabajo de grado para optar al título de Biólogo). Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías. Programa de Biología.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2014). *Estado del arte de los humedales Continentales*. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9510/13-13-014-161PS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Jaramillo, U. (2016). *Colombia anfibia, un país de humedales* (Volumen II). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Van Humboldt.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Política nacional para humedales internos en Colombia*. Panamericana.
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre la diversidad biológica*. Secretaría General.
- Villadiego, J., Piedra, L., Tapia, H., Méndez, Y. y Díaz, M. (2018). Corralito un humedal en vía de extinción en el corregimiento de Severá, Municipio de Cereté, Colombia. *Revista Geográfica de América Central*, 1(64), 263-284. <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/index>

Capítulo 4.

Vulnerabilidad frente al cambio climático: caso vereda La Alicia, municipio de Canalete

María Beatriz Jiménez Ruiz¹⁸

Andrea Ávila Fuentes¹⁹

Jorge Villadiego Lorduy²⁰

Natalia García Corrales²¹

Yhonattan Méndez Nobles²²

Tulia Gómez Márquez²³

Resumen

En el siguiente trabajo se realizó el análisis de vulnerabilidad que presenta la vereda La Alicia en el municipio de Canalete (departamento de Córdoba, Colombia) frente al fenómeno de cambio y variabilidad climática, relacionando amenazas de tipo naturales. Lo anterior, con el objetivo de establecer el grado de vulnerabilidad integral frente al cambio climático (CC) y proponer medidas

18 Ingeniero sanitario y ambiental. Profesional ambiental en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

19 Ingeniero sanitario y ambiental. Profesional ambiental en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

20 Docente investigador Universidad Pontificia Bolivariana, Sede Montería. PhD. Ciencias Naturales para el Desarrollo. Correo: jorge.villadiegol@upb.edu.co

21 Ingeniero Industrial. Asesor científico en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

22 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. MSc. en Gestión ambiental. Correo: yhonattan.mendez@upb.edu.co

23 Ingeniero sanitario. Directora del programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. Correo: tulia.gomez@upb.edu.co

para el aumento de la capacidad adaptativa de esta zona del departamento. Para ello, fue necesario determinar los datos de entrada (variables climáticas) de la vereda en estudio en torno al CC. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de vulnerabilidad integral conforme a una encuesta y visitas de campo teniendo en cuenta la dimensión social, económica y ambiental. Finalmente, a partir de las etapas anteriores se llegó al planteamiento por componentes de una serie de medidas encaminadas a que la vereda sea resiliente y adaptada a problemáticas causadas por el CC. En este sentido, el desarrollo de la investigación permitió concluir: 1) el grado de vulnerabilidad que presenta la vereda en estudio es alto y 2) la capacidad de adaptación frente al cambio climático es baja, debido a que se encuentran altamente expuestos y sensibles a los eventos climáticos extremos.

Palabras clave: variabilidad climática; impacto potencial; sensibilidad; exposición; resiliencia.

Abstract

In the following work, a modification analysis was carried out against climate change that responds to the problems presented by the La Alicia sidewalk in the municipality of Canalete-Córdoba against the phenomenon of climate change and variability, specific related to natural type threats, with the objective of establishing the degree of comprehensive modification against climate change, which allows proposing measures to increase the adaptive capacity of this area of the department of Córdoba. For this, it is necessary to determine the input data (climatic variables) in the path under study around climate change. After this, a comprehensive data analysis was carried out according to a survey and field visits considering the social, economic and environmental dimension. Finally, from the previous stages, the component approach of a series of measures aimed at the path is resilient and adapted to problems caused by Climate Change. In this sense, the development of the confirmed research concludes: 1) the degree of vulnerability presented by the path under study is high and 2) the ability to adapt to climate change is low, because they are highly sensitive and sensitive to extreme weather events.

Keywords: climatic variability; potential impact; sensitivity; exposure; resilience.

4.1 Introducción

El cambio climático hoy está afectando todos los ecosistemas en el contexto mundial. Según el Panel Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático (IPCC, 2016), este lo define como un cambio estable y durable en los patrones de clima para largos periodos de tiempo. Factores como la disponibilidad de agua y el deshielo de glaciares se verán afectados, además de inundaciones y deslizamientos de tierra (Organización de las Naciones Unidas, 2016). Este fenómeno ha sido objeto de un largo proceso de descubrimiento, sin embargo, solo hasta hace dos décadas comenzó a enfrentarse. En septiembre de 2015 se adoptó la Agenda Post-2015 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en diciembre se acogió el Acuerdo de París en la COP21. En el año 2020 entró en vigor el acuerdo de París. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2017, p. 6), el CC es una realidad que afecta la dimensión ambiental en el planeta. Las nuevas condiciones climáticas, al parecer, cada vez más extremas y variables, han empezado a desafiar la planificación, la política y las expectativas sectoriales y territoriales.

Los efectos del cambio climático son variados, dependiendo la región, la capacidad de adaptación y nivel de vulnerabilidad que cada uno de los países maneja, así mismo se ven representados en las diversas actividades humanas. El IPCC (2014) indica que el cambio climático es un fenómeno natural que se desarrolla en el planeta, lo que actualmente se ve es un riesgoso incremento por el uso desmedido de combustibles fósiles. En América Latina, Colombia no es ajena a esta situación, actualmente en toda la extensión del territorio han ocurrido afectaciones derivadas del cambio climático; tales afectaciones van desde incremento de incendios forestales, alteraciones en el régimen de vientos, hasta un déficit significativo en la disponibilidad de agua lo que produce sequías y pérdidas en ganadería y cultivos que incrementan la malnutrición de la población (IPCC, 2014).

Según datos provenientes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (Ideam y PNUD, 2016), la alteración promedio que puede traer el escenario climatológico de cambio al régimen hidrológico actual del país alcanzaría un 12 % a favor de la escorrentía. Lo anterior

indica que Colombia es un escenario de cambio climático progresivo. El departamento de Córdoba y la región Caribe colombiana presentan una notoria vulnerabilidad a los efectos del cambio climático. Según el *Informe sobre Cambio Climático en Colombia* (IDEAM, 2018), la temperatura media está aumentando a una tasa de cambio de 0,13 °C por década para el período 1971-2000, se destaca un mayor incremento en regiones como Córdoba. La tendencia actual indica que la temperatura media en el territorio nacional continuará incrementándose durante el siglo XXI, de tal manera que para el período 2011-2040 habría aumentado en 1,4 °C, para 2041-2070 en 2,4 °C y para 2071-2100 en 3,2 °C. Esto se traduciría en el cambio de un clima semihúmedo a semiárido y luego a árido. Sobre el nivel de precipitaciones, en Córdoba ha sido recurrente sentir con rigor las sequías e inundaciones prolongadas a causa de los fenómenos de El Niño y de La Niña respectivamente. La tendencia para las próximas décadas señala un aumento de las precipitaciones en el municipio de Montería por encima del 36 % en relación con el período 1971-2000.

Así mismo, se prevé un aumento del nivel del mar Caribe de alrededor de 9 y 12 centímetros para 2040, entre 16 y 22 centímetros al 2070 y entre 23 y 32 centímetros al 2100. Por su marcado carácter agrícola y ganadero, un aumento de las temperaturas o de los niveles de pluviosidad podría impactar de manera significativa en el municipio.

La vereda La Alicia perteneciente al municipio de Canalete (Córdoba), y objeto de este estudio, carece de un análisis de vulnerabilidad integral frente al cambio climático, considerando los componentes de sensibilidad, exposición, y capacidad adaptativa. Por lo tanto, se buscó analizar la vulnerabilidad integral frente al cambio climático, que permitiera proponer medidas para el aumento de la capacidad adaptativa en el área de estudio.

4.2 Marco teórico

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2016), el cambio climático (CC) es una realidad, con efectos directos en la vida de los seres humanos. El CC está generando alteraciones en las economías nacionales. No obstante, en la actualidad no se dispone de unas soluciones alcanzables

que contribuyan a dar un gran paso a economías verdes y resilientes. En todo el mundo, más de 200 millones de individuos son afectado por las sequías, inundaciones, pobreza, aumento de la densidad poblacional, problemáticas ambientales y el calentamiento global, así, el impacto de las amenazas naturales sigue empeorando (ONU, 2016; FAO, 2016; Amar, Madariaga, Jabba, Abello, Palacio, De Castro, Martínez *et al.*, 2011). Los últimos eventos climáticos señalan que las amenazas naturales afectan a todos, desde el tsunami del océano Índico, la catástrofe originada por huracanes y ciclones en los Estados Unidos, el Caribe y el Pacífico, hasta las fuertes inundaciones en Europa y Asia. En el marco de lo anterior, muchos países han tomado medidas para minimizar el riesgo de desastres y han generado un lineamiento denominado el Marco de Acción de Hyogo (ONU, 2016).

Enfrentar el cambio climático exige una transformación hacia una sociedad y una economía amigables con el ambiente, con menor dependencia de los combustibles fósiles y con instrumentos que permitan construir ciudades. Un papel determinante lo juegan los gobiernos locales y sus acciones, tanto en mitigación como en adaptación. Es por eso, que Chile elaboró el instrumento Adapt-Chile con la ayuda de Euroclima, con el objetivo de apoyar a municipios en el desarrollo de planes locales de cambio climático. Argentina, por su parte, en los últimos años ha comenzado a padecer las consecuencias del cambio climático. Estos efectos han sido progresivos, y se han sentido en distintas regiones del país, afectan directamente la salud, la vivienda y la calidad de vida en general e incorpora la pérdida de vidas.

La Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático indica que existen problemáticas generales asociadas a todos los territorios nacionales. Teniendo en cuenta esto, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) realizó un diagnóstico y análisis de los desafíos del cambio climático (BID, 2017; Flannery, 2011). Los fundamentales fenómenos climáticos adversos registrados en Uruguay están asociados a sucesos hidrometeorológicos casuales como sequías, inundaciones, heladas, olas de calor, granizo, tornados y turbonadas, con secuelas en las esferas natural, social y económica en varias regiones del territorio uruguayo, dependiendo de la magnitud del evento. En diciembre de 2017 se presentó el *Segundo informe bienal de actualización* (BUR, por su sigla en inglés), un compromiso que asume el país frente a la Convención

Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CC), que debe presentarse cada dos años, y en el cual se incorporaron las acciones de mitigación que realiza Uruguay frente al CC, detallando sectores como energía, transporte, agropecuario y forestal (Euroclima, 2015; Urbina y Martínez, 2005).

4.3 Metodología

El enfoque metodológico del proyecto fue mixto, puesto que implicó un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos cualitativos y cuantitativos con el fin de analizar dimensiones de sensibilidad, exposición y capacidad adaptativa. La tipología del estudio fue analítico-descriptiva, puesto que se evidenció los impactos potenciales del cambio climático de la vereda en estudio y sus características. El método que se utilizó en el análisis de la vulnerabilidad frente al cambio climático en la vereda La Alicia (municipio de Canalete), se soportó en el análisis de información primaria y secundaria.

En términos de información primaria se diseñó y aplicó un instrumento de investigación tipo cuestionario validado mediante panel de expertos, que buscó recopilar información de variables socioeconómicas, climáticas, acceso a agua potable, catástrofes naturales, que permitiera contrastar con la información secundaria analizada y con las visitas a campo. Referente a la información secundaria, primero se buscó determinar los datos de entrada en torno al cambio climático para la vereda, se recopiló información de las variables climáticas y de estudios socioambientales.

La población universo de la investigación está determinada por veintidós familias pertenecientes a La Alicia; a las cuales se les aplicó el instrumento de investigación tomando un individuo de la familia como muestra. A los datos obtenidos con la implementación del cuestionario se les realizó un análisis estadístico de corte descriptivo.

Con los resultados obtenidos del análisis de la información secundaria y estadística se determinó el grado de vulnerabilidad que poseen los habitantes de la zona de estudio. Dentro de las técnicas de estudio implementadas se tiene: a) análisis de contenido b) observación directa e

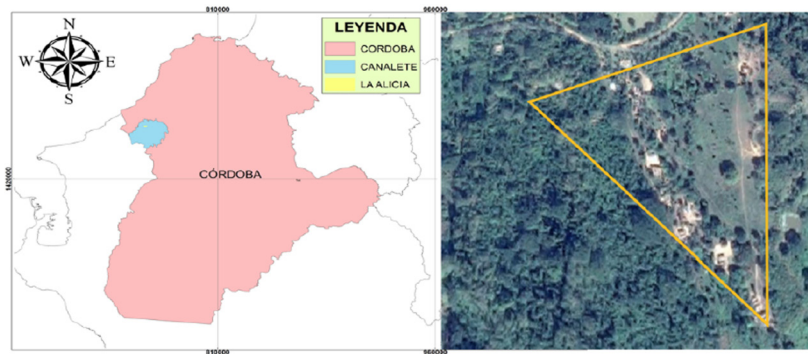
indirecta, c) entrevista y d) trabajo en campo. Igualmente, la construcción de matrices, mapas temáticos, gráficos, figuras, diario de campo y las fichas bibliográficas y de contenido fueron instrumentos ejecutados en el proceso investigativo. Por último, para el análisis de los datos estadísticos se utilizó el *software* Excel 2018.

4.4 Resultados y discusión

4.4.1 Área de estudio

La zona de estudio está ubicada en el departamento Córdoba, específicamente en el municipio de Canalete, con coordenadas $8^{\circ}47'24''N$ y $76^{\circ}14'28''O$. En la figura 27 se muestra la imagen satelital de la vereda La Alicia.

Figura 27. Imagen satelital de la vereda La Alicia



Fuente: Google Earth (2018).

En la vereda La Alicia, se evidencian fenómenos asociados con la variación sostenida de las variables climáticas y presenta efectos sobre los medios de vida y la estructura socioecológica del territorio. En cuanto a la exposición, se denota en alto grado, debido al cambio histórico en términos de temperatura y precipitación en la zona de estudio, ello afecta los ecosistemas por sequía o por inundación, aumenta la inseguridad alimentaria en la comunidad, este último factor influye de manera directa

en el índice de pobreza de la localidad. Lo anterior, se refleja en los bajos ingresos económicos, lo que la hace altamente sensible a las afectaciones por variabilidad y cambio climático. En cuanto a lo social, de acuerdo con el análisis realizado a partir de la aplicación de las encuestas, se evidenció que la vereda enfrenta grandes problemas de abastecimiento de agua, sobre todo en temporadas de sequía y lluvia. De esta manera, se da una alta sensibilidad frente a fenómenos repentinos de inundación, asociados a la capacidad de respuesta para llevar a cabo, por ejemplo, una evacuación hacia zonas seguras, debido a que se carece de medidas de adaptación a eventos climáticos extremos.

La tasa alta de analfabetismo de la vereda se relaciona directamente con la capacidad de conocer el fenómeno de cambio climático, y como este afecta la estructura socioecológica y la estabilidad económica del territorio. Por otro lado, la capacidad adaptativa de la comunidad es baja debido a que no cuenta con la infraestructura, conocimiento, o tecnológica para enfrentar las diferentes manifestaciones del fenómeno. Además, como se ha mencionado anteriormente, el desconocimiento de la problemática, la baja tenencia de la tierra y la no incorporación de nuevos modelos de producción climáticamente inteligentes se evidencian en deficiencias en la correcta gestión de las actividades productivas, como la siembra de cultivos, actividades de pastoreo, entre otros; los mismos problemas se presentan de manera periódica en cada temporada climática.

En lo que respecta a los servicios de alcantarillado y aseo, no se cuenta con cobertura; lo cual representa mayores impactos para el ambiente en cuanto a la disposición de excretas y agua residual a cielo abierto, inadecuado manejo de residuos sólidos ordinarios, entre otros aspectos. En cuanto a las edificaciones, las viviendas presentan un alto grado de fragilidad por los materiales utilizados para su construcción, tales como madera, techos en palma, que no responden a las normas sismorresistentes, por tanto, el nivel de fragilidad es alto frente a los fenómenos de desastres tales como la inundación.

4.4.2 Análisis del grado de vulnerabilidad

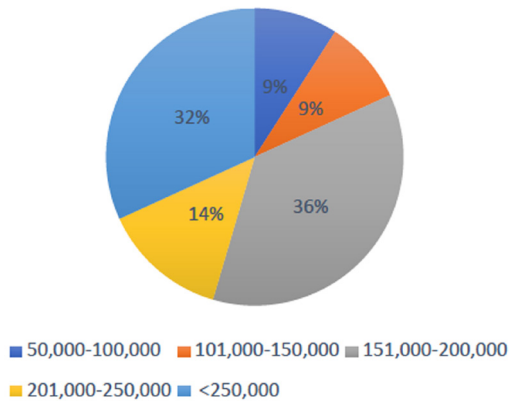
Los procesos de descentralización han puesto en manos de los gobiernos municipales la clave para intervenir de manera eficaz en la lucha contra el cambio climático al otorgarles la competencia para la toma de decisiones

que conciernen a los servicios urbanos, la recuperación y reordenamiento territorial, el consumo energético, la prevención de riesgos y desastres y la preservación de los recursos naturales, entre otros.

El análisis de la vulnerabilidad se desarrolló a partir de un instrumento de recolección de información tipo encuesta, que constó de tres variables que incluyen los componentes social, ambiental y económico. El instrumento fue aplicado a la totalidad de la muestra, es decir, veintidós familias. Frente a la variable económica, dimensión, ingresos; de las 22 familias a las que se les aplicó el instrumento, el 32 % se encuentra con ingresos mayores mensuales cercanos a los USD 63,27 y menor a USD 103,37. El 36 % presentan ingresos que oscilan entre USD 38,22 y 50,62. Otro grupo de familia, consolidadas en un 14 % se clasifica en un rango de USD 50,87 y USD 63,27. El restante 18 % de los núcleos familiares presentan ingresos inferiores a USD 37,96.

En conclusión, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2017) el 100 % de estas familias se encuentran en pobreza extrema debido a que sus ingresos mensuales son inferiores a USD 103.37 (figura 28).

Figura 28. Ingresos por familia

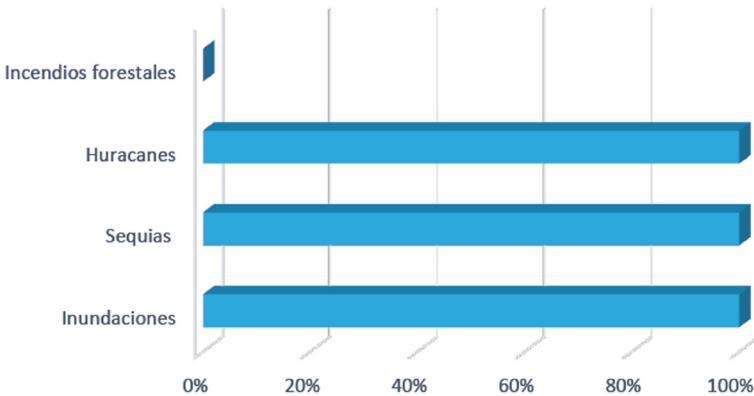


Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la disponibilidad de servicios básicos como el de acueducto, no se cuenta con una red oficial, el abastecimiento del agua para consumo humano en la vereda es derivado de la recolección de agua lluvia en un 82 %, el restante 18 % es tomado de un aljibe. El método más usado para tratar el agua para consumo humano es el hervido con un 41%; sin embargo, un 27 % de la población no realiza ningún tratamiento previo al consumo, el resto utiliza métodos como la cloración o filtración con paños.

El acceso a educación está garantizado en la mayoría de la comunidad en el ámbito primario, las mayores deficiencias se dan en el acceso a los servicios de salud donde la gran mayoría de familias han de desplazarse hasta la cabecera municipal para acceder a los servicios de primeros auxilios. El nivel participativo de la comunidad en diferentes organizaciones comunitarias es medianamente alto, debido a que la comunidad cuenta con junta de acción comunal; no obstante, se percibe una baja capacidad de gestión por parte del presidente de la junta. Por otro lado, la comunidad se ve afectada por eventos de origen hidrometeorológicos que generan afectación a los ecosistemas por sequía o por inundación que pueden aumentar la inseguridad alimentaria en los habitantes. Además, la participación de grupos de apoyo en estos eventos es deficiente, así como se muestra en la figura 29.

Figura 29. Eventos naturales de origen climático



Fuente: elaboración propia.

En términos de análisis de información, se realizó una triangulación que pretendió confirmar o corroborar resultados obtenidos, efectuando la validación cruzada entre datos cuantitativos y cualitativos. Para este caso, se aplicó el método de la triangulación entre el diagnóstico desarrollado en el primer objetivo, el análisis de resultados de la aplicación del instrumento de investigación y la priorización de los indicadores, tal como se muestra en la figura 30.

Figura 30. Análisis de la vulnerabilidad

Variable	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa
Económico	Debido al cambio histórico en términos de temperatura y precipitación en la zona de estudio, las cuales han incidido en la afectación de los ecosistemas por sequía o por inundación puede aumentar la inseguridad alimentaria en las comunidades, influyendo en el índice de pobreza ya que irá en aumento.	Alta sensibilidad frente a fenómenos de inundación repentinos al necesitar alto tiempo de evacuación hacia zonas seguras, ya que no cuentan con estructuras o infraestructuras de adaptación frente a fenómenos climáticos extremos.	La comunidad no cuenta con la capacidad tecnológica ante los eventos climáticos extremos, además no tienen conocimiento de la problemática que están viviendo, generando que su visión ante la alta disponibilidad y acceso a terrenos propios tenga grandes deficiencias en la correcta gestión de las actividades productivas como la siembra de cultivos, viéndose reflejada en los bajos ingresos económicos lo que la hace altamente sensible a afectaciones por variabilidad climática y cambio climático.
Social	De acuerdo con el análisis realizado a partir de la aplicación de las encuestas se evidenció que la vereda enfrenta grandes problemas al abastecimiento de agua, debido a que la fuente de captación (aljibe) está expuesta a sequías. Por otro lado, las juntas de acción comunal poco activas no son utilizadas para solucionar las problemáticas que los aquejan de manera comunitaria.	La tasa alta de analfabetismo de la vereda afecta a la comunidad, ya que no tiene preparación para hacer frente a los fenómenos que está viviendo. Además, la vereda posee un déficit en el acceso a los servicios públicos de alcantarillado y residuos sólidos lo que genera contaminación en las matrices suelo, agua y aire.	No existe acceso a puestos de salud en las comunidades lo que hace necesario dirigirse a la cabecera municipal para recibir asistencia médica.

Variable	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa
Ambiental	Deficiencias en la cobertura de servicios básicos como agua potable hacen que la comunidad sea altamente vulnerable ante exposiciones prolongadas a altas temperaturas en épocas secas. No contar con servicio de alcantarillado origina contaminación de suelos, agua y enfermedades transmisibles. Tendencias de aumentar la temperatura y la precipitación harían disminuir la tasa de cobertura boscosa debido a las pendientes bajas que presenta el suelo de la zona de estudio.	Conforme a la inspección de campo, se analizó que la vereda presenta alta sensibilidad por inundación fluvial en temporada de lluvias debido a la fragilidad de los cuerpos hídricos para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que, ante amenazas como períodos largos de estiaje o eventos como el fenómeno cálido del Pacífico (El Niño), podría generar riesgos de desabastecimiento. Por las bajas coberturas boscosas se da la migración de especies en la zona.	La vereda posee suelo clase V, es decir, son suelos de relieve plano o plano cóncavo con pendientes inferiores al 3% sin erosión, generalmente son arcillosos, con drenaje natural de pobre a pantanoso, niveles de fertilidad de alta a muy baja.

Fuente: elaboración propia.

4.4.3 Medidas que aumenten la capacidad adaptativa

Las medidas de sostenibilidad surgen como respuestas para minimizar los riesgos y amenazas derivados de las alteraciones climáticas, puntualmente a los relacionados a desastres naturales y eventos climáticos extremos. Dichos lineamientos abarcan: a) la realización de estudios, b) la generación y recopilación de información, y por último c) la formulación de normas y la instalación de sistemas de monitoreo en el territorio. A continuación, se plantean los objetivos y líneas de acción de adaptación conforme a la vulnerabilidad y a la capacidad adaptativa de la vereda en estudio de acuerdo con el análisis integral de la vulnerabilidad que se obtuvo en el objetivo anteriormente desarrollado, así como se muestra en la figura 31.

Figura 31. Medidas que aumentan la capacidad adaptativa

Variable	Estado	Objetivos	Línea de acción
Económico	<p>ECONOMÍA</p>	Identificar estrategias encaminadas a incentivar las buenas prácticas agrícolas asociadas a la reducción de la vulnerabilidad frente al cambio climático.	Implementación de cultivos resilientes.
Social	<p>SOCIAL</p>	Identificar los puntos territoriales, funciones municipales y ciudadanos que son y serán más fuertemente afectados por los impactos del cambio climático.	Impulsar la inversión en la gestión y prevención del riesgo ante eventos climáticos extremos.
Ambiental	<p>AMBIENTAL</p>	Reducir el riesgo en los fenómenos de inundación.	Articulación de un sistema de respuesta ante eventos de inundación en la población vulnerable a dichos acontecimientos.
Institucional	<p>INSTITUCIONAL</p>	Promover la asociatividad en las comunidades.	Aumento de la participación comunitaria y la gestión de la administración municipal frente a las soluciones y decisiones que se pueden tomar para disminuir la vulnerabilidad.

Fuente : elaboración propia.

Conclusiones

Dentro de las conclusiones obtenidas con el desarrollo de la presente investigación y del trabajo desarrollado en campo se tienen las siguientes: en el departamento de Córdoba, y en general toda la región del Caribe colombiano, se presenta una notoria vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, incluyendo la vereda La Alicia.

La geomorfología y la clase agrológica de los suelos en el área de estudio presentan grandes retos para el desarrollo de modelos productivos sostenibles, por un lado, la oportunidad para hacer un uso adecuado de los suelos con alto grado de fertilidad, y por otro, encontrar procesos de aprovechamiento de suelos pobres que permitan maximizar sus atributos en temporadas adversas del clima.

El sistema hidrográfico del municipio de Canalete se encuentra afectado por la deforestación progresiva en las márgenes de todas las microcuencas, cuya capa vegetal se desprende y es arrastrada hacia las partes bajas de los ríos y quebradas, se presenta mucha sedimentación, lo cual afecta notablemente a la fauna acuática. El grado de deterioro ambiental es alto, por los procesos de alteración de los ecosistemas naturales, los cuales han sido explotados hasta el grado de alterar la dinámica natural y la cantidad de especies, tanto animales como vegetales.

El diagnóstico ambiental de la cuenca hidrográfica del río Canalete, elaborado por la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS, 2016) señala que las amenazas naturales más importantes en el municipio son las inundaciones, los procesos erosivos, el diapirosmo o volcanismo de lodo, y las amenazas sísmicas. La evaluación de las amenazas sísmicas en el contexto nacional, indica que la cuenca del río Canalete se encuentra en un grado de amenaza media.

Se puede afirmar que la vereda La Alicia en el municipio de Canalete, ha sufrido los estragos del cambio climático consolidándose en movimientos migratorios, antes existían cuarenta y cinco familias y en la actualidad solo se encuentran habitando la vereda veintidós hogares. Lo anterior, se evidencia en la vulnerabilidad que posee la zona de estudio, debido a la difícil situación socioeconómica y a los componentes ambientales.

El grado de vulnerabilidad que presenta la vereda en estudio es alto, es decir, que la capacidad de adaptación frente al cambio climático es baja, debido a que se encuentran altamente expuestos y sensibles a los eventos climáticos extremos. Por lo tanto, las medidas de adaptación que se proponen obedecen a la relación con la capacidad adaptativa, puesto que La Alicia presenta bajos niveles en cuanto a esta capacidad, logrando ser altamente vulnerables.

Referencias

- Amar, J., Madariaga, C., Jabba, D., Abello, R., Palacio, J., De Castro, A., Martínez, M., Utria, L., Sanadrés, E., Eljagh, S., Robles, C., Díaz, M. y Zanello, L. (2011). Desplazamiento climático y resiliencia. Universidad del Norte.
<https://books.google.es/looks?hl=es&lr=&id=KLOPCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=A+nivel+mundial,+m%C3%A1s+de+200+millones+de+personas+resultaron+afectadas+por+las+sequ%C3%ADas,+inundaciones+y+otras+amenazas.+Adem%C3%A1s+de+la+pobreza,+la+creciente+densidad+de+la+poblaci%C3%B3n,+la+degradaci%C3%B3n+ambiental+y+el+calentamiento+global=yYbq9fnbyheOr2nqnG-6C2YcV30#v=onepage&q&f=false>
- Banco Interamericano de Desarrollo BID (2017). Análisis de los desafíos del cambio climático. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El-cambio-clim%C3%A1tico-y-el-BID-Creaci%C3%B3n-de-resiliencia-y-reducci%C3%B3n-de-emisiones.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge CVS (2016). Trabajando por un Córdoba hídrica y biodiversidad. <https://cvs.gov.co/web/wp-content/docs/INFGESTION/INFORME%20DE%20GESTI%C3%93N%202016.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. DANE (2017). Estadística por temas ambientales. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales>
- EUROCLIMA. (2017). Segundo informe bienal de actualización de la República Argentina a la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. http://euroclimaplus.org/intranet/_documentos/repositorio/02%20Bienal%20Convenci%C3%B3n%20ONU%20cambio%20clim%C3%A1tico_2017.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. IDEAM y PNUD. (2016). Conocer es el primer paso para adaptarse. <http://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/MedioAmbiente/undp-co-3raComIDEAM-edicion17-2016.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. (2017). Análisis de vulnerabilidad de Colombia. <http://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/MedioAmbiente/undp-co-3raComIDEAM-edicion17-2016.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2018). Informe sobre Cambio Climático en Colombia. Consultado el 02 del 2016. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/escenarios-cambio-climatico>

- Organización de las Naciones Unidas ONU (2016). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. UNSD. Naciones Unidas. https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/the%20sustainable%20development%20goals%20report%202016_spanish.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2016). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/publications/sofa/2016/es/>
- Organización de las Naciones Unidas. ONU. (2012). Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres. https://www.unisdr.org/files/18197_provisionalspanishversionmidtermrev.pdf
- Panel Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático. IPCC. (2016). Sexto informe de evaluación. https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- Panel Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático. IPCC. (2014). Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf
- Flannery, T. (2011). *La amenaza del cambio climático*. House Grupo editorial.
- Urbina, J. y Martínez, J. (2005). *Más allá del cambio climático*. Instituto Nacional de Ecología.

Capítulo 5.

Coagulante natural de tuna (*Opuntia ficus indica*) para la potabilización de agua

Pedro Payares Ramos²⁴
Johana Rodiño Argüello²⁵
Jorge Villadiego Lorduy²⁶
Kevin Rodríguez González²⁷
Adolfo Cortecero Bossio²⁸
Nubia Garzón Barrero²⁹

Resumen

La presente investigación evaluó la capacidad coagulante de la tuna fresca (*Opuntia ficus - indica*), en muestras de agua cruda tomadas del caño Bugre, con turbiedades iniciales de 37,65, 145, 185 y 247,67 UNT. A través de ensayos de jarras, se optimizaron las condiciones de coagulación en función del porcentaje de remoción de turbidez, para dosis entre 250 y 1250 mg/L. Con dosis óptima de 750 mg/L, la eficiencia de remoción de turbiedad varió entre 54,93 % y 97,32 % para un tiempo de floculación de cinco minutos y de 15,81 % y 98,63 % para un tiempo de floculación de diez minutos, y el tiempo de sedimentación se

24 Ingeniero sanitario y ambiental. Director Environment & Technology, Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

25 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Magíster en Ciencias Ambientales. Correo: johana.rodino@upb.edu.co

26 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph. D. en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Email: jorge.villadiegol@upb.edu.co

27 Ingeniero sanitario y ambiental. Consultor ambiental. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

28 Msc. en Gestión Ambiental. Asesor ambiental en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

29 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph. D. en Ciencias de los Materiales. Correo: nubia.garzonb@upb.edu.co

optimizó desde dos minutos. Con la misma dosis óptima, la remoción de DQO fue del 75 %, la de SSED, 80 %; la de coliformes totales, 49 % y la de *E. coli*, 73 %. Al mismo tiempo se analizó el comportamiento del pH y la alcalinidad de las muestras de agua tratadas, las cuales no presentaron variaciones significativas.

Palabras clave: dosificación; agua cruda; floculación; remoción; turbidez.

Abstract

The coagulant capacity of the fresh Tuna (*Opuntia ficus-indica*) was evaluated in samples of raw water taken from the Bugre canal, with initial turbidities of 37.65, 145, 185 and 247.67 NTU. Through jar tests, the coagulation conditions were optimized according to the percentage of turbidity removal, for doses between 250 and 1250 mg/L. With an optimum dose of 750 mg/L, the turbidity removal efficiency varied between 54.93 % and 97.32 % for a flocculation time of 5 minutes and 15.81 % and 98.63 % for a flocculation time of 10 minutes, and the sedimentation time optimized from 2 minutes. With the same optimal dose, COD removal was 75 %, SSED, 80 %; total coliforms, 49 % and *E. coli*, 73 %. At the same time, the behavior of the pH and the alkalinity of the treated water samples were analyzed, which did not show significant variations.

Key words: dosage; raw water; floculación; removal; turbidity.

5.1 Introducción

La calidad del agua para consumo humano es uno de los principales problemas asociados al bienestar de las comunidades, pues existen diversas enfermedades de origen hídrico por consumir aguas no aptas que comprometen la salud pública, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2007). Las poblaciones rurales son las que más sufren enfermedades hídricas por la falta de inversión de los entes gubernamentales en acueductos (Ávila, 2015). Se entiende que el consumo de agua potable se asocia a zonas de considerable densidad poblacional y que en zonas rurales dispersas o marginales, usualmente no se cuenta con sistemas de tratamiento centralizado. Son, justamente, este tipo de comunidades las que se enfrentan al consumo de agua de mala calidad y las que motivan principalmente la búsqueda e implementación de alternativas de potabilización (OMS, 2012).

En este estudio se muestra la optimización de las condiciones de coagulación de la tuna fresca en agua cruda del caño Bugre y su incidencia sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua tratada como la turbiedad, pH, alcalinidad total, demanda química de oxígeno, sólidos sedimentables, coliformes totales y *E. coli*. Cabe aclarar que se analizaron estas características debido a que si bien el caño Bugre es una fuente de agua natural que se alimenta en la temporada de lluvias del río Sinú, con el paso del tiempo y los problemas asociados a la cuenca del mismo, hoy día se evidencia que su caudal no solo depende del río, sino también de los vertimientos líquidos y residuos sólidos que los habitantes adyacentes a su curso le adicionan a su paso. Finalmente, la importancia de este estudio se centró en contribuir en la localidad, una alternativa de potabilización de agua cruda que contribuya a lograr un tratamiento primario para producir agua más limpia y segura apuntando a una medida de saneamiento y desarrollo sostenible en una población determinada, así mismo quedará la iniciativa para que los resultados puedan ser implementados, evaluados y mejorados *in situ* en la zona de estudio.

5.2 Marco teórico

Uno de los mayores problemas que se está presentando actualmente es la disponibilidad de agua dulce, vital para la supervivencia de los seres humanos (Ramírez y Jaramillo, 2015). Es de saber que los tratamientos para la clarificación de las aguas son importantes para la sociedad debido a que de esto depende la calidad de agua que se consume (Solís, Laines y Hernández, 2012). Estudios realizados en Brasil y México se han enfocado en tratamientos de clarificación de las aguas al comparar coagulantes inorgánicos, como sulfato de aluminio con semillas de moringa, y al mezclar el almidón de yuca con sulfato de aluminio, concluyendo ambos que estos coagulantes podrían sustituir a los coagulantes químicos y ayudar en el tratamiento de aguas superficiales (Lédo, Lima, Paulo y Duarte, 2009; Solís *et al.*, 2012).

Investigadores colombianos también han estudiado la clarificación del agua usando coagulantes naturales como nirmali (*Strychnos potatorum*), granos tostado de maíz (*Zea mays*), curcas (piñón mexicano), rosa de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). Estos estudios muestran que los coagulantes naturales, a diferencia de los sintéticos, tienden a garantizar que no existan alteraciones del pH y la alcalinidad del agua tratada (Guzmán, Villabona, Tejada y García, 2013).

Otros estudios también realizados en Colombia sobre los coagulantes naturales, específicamente sobre la tuna (*Opuntia ficus-indica*), han mostrado los valores máximos de remoción de turbidez en el agua, llegando a remociones de 85,4 % con dosis de 50 mg/L y 40 rpm, y a remociones de 52,6 % con dosis de 75 mg/L y 30 rpm. Este comportamiento se relaciona con las condiciones en que se realizaron las pruebas (Rodríguez, 2008).

5.3 Metodología

Las muestras de agua cruda para este estudio fueron recolectadas en el caño Bugre, efluente del río Sinú, a la altura de la vereda Tambora, municipio de San Pelayo, departamento de Córdoba, Colombia. Se realizaron inicialmente tres muestreos simples entre los meses de febrero y junio de 2017, y un cuarto muestreo en el mes de noviembre del mismo año. A cada muestra de agua, se midió por triplicado los parámetros fisicoquímicos de interés (T, pH, turbidez, alcalinidad total). Los instrumentos utilizados para cada parámetro fueron potenciómetro SCHOTT instruments Lab 850 y por último el método de titulación potenciométrica con ácido sulfúrico 0,02N. Se aplicó los métodos normalizados para el análisis de aguas potable y residual según la American Public Health Association (APHA, 2005). Por otra parte, el material vegetal (tuna, *Opuntia ficus indica*) fue seleccionado considerando la información de estudios previos que demuestran su actividad coagulante, que fuera de fácil adquisición y por su composición de nutrientes, en especial por el significativo contenido de carbohidratos (Arboleda, 2000).

Para preparar el coagulante, se tomaron los tallos de la tuna seleccionados y se les retiraron las espinas y la epidermis. Posteriormente la pulpa se cortó en pequeños trozos de ± 2 que fueron macerados y triturados con un rayador manual para obtener pequeñas partículas (Villabona, Paz y Martínez, 2013). El mucílago fresco producto de este proceso fue aplicado como coagulante natural en los ensayos de jarras. Para determinar la dosis óptima en función de la menor cantidad de coagulante necesaria para remover la mayor turbidez del agua cruda, se realizaron test de jarra en un floculador E&Q modelo F6-330-T (Norma ASTM-D2035-08; NTC 3903 de 2010; RAS título C, 2000). Se añadieron cinco dosis del extracto coagulante: 250, 500, 750, 1000, 1250 mg/L a cada muestra de agua con tres niveles de turbidez inicial de 37,65, 145 y 247,67 UNT, que dependieron de las condiciones ambientales y de las características propias del caño Bugre en los días que se realizaron los muestreos, para un total de quince muestras. El volumen final en las jarras fue 800 mL. Las condiciones de los test de jarras fueron:

- Mezcla rápida: 200 rpm durante 1 minuto.
- Mezcla lenta: se ensayaron por separado dos tiempos de mezcla lenta, 40 rpm durante 10 minutos y 40 rpm durante 5 minutos.

El contenido de los *beakers* se dejó sedimentar durante veinte minutos, después de los cuales se midió la turbidez residual con un turbidímetro HACH 2001P y los demás parámetros fisicoquímicos de interés, pH y alcalinidad de acuerdo con la American Public Health Association (APHA, 2005). La eficiencia de coagulación se determinó en función de la remoción de turbidez y se calculó con la siguiente ecuación (Antov *et al.*, 2012):

$$\%Remoción = \frac{Turbidez_{inicial} - Turbidez_{final}}{Turbidez_{inicial}} * 100 \text{ [Ecuación 1].}$$

A continuación, en la tabla 4 se muestran los valores de las variables sugeridos por el diseño experimental, teniendo en cuenta los niveles de turbiedad del agua cruda del caño Bugre.

Tabla 4. Condiciones de los test de jarras

Dosis del coagulante (mg/L)	Tiempo de mezcla lenta (min)
250	5
	10
500	5
	10
750	5
	10
1000	5
	10
1250	5
	10

- 3 niveles de turbiedad inicial: 37.65, 145 y 247.67 UNT
- Condiciones de mezcla rápida: 200 rpm/1min.
- Velocidad de mezcla lenta: 40 rpm.
- Tiempo de sedimentación: 20 minutos.

Fuente: elaboración propia.

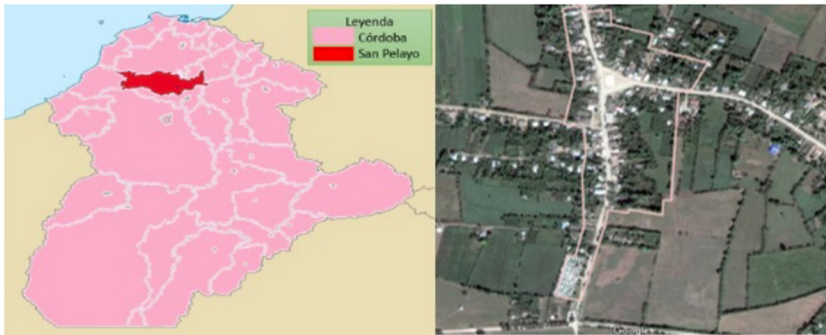
Para el análisis estadístico, se utilizó un diseño factorial generando un modelo cuadrático y se realizó un análisis de varianza (Anovas) para determinar la igualdad y las medidas de porcentaje de remoción de turbiedad (% RT), pH, alcalinidad y tiempos de mezcla lenta en los diferentes tratamientos. El análisis estadístico y el análisis gráfico se desarrollaron a través del *software* Statgraphics Centurión XVI y Microsoft Excel. Por último, una vez identificado el rango de dosis óptima del coagulante y optimizado el tiempo de floculación, se procedió a tomar una cuarta muestra de agua cruda con turbiedad de 185 UNT. La cual se sometió al análisis de turbiedad, pH, alcalinidad total, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables (SSED), coliformes totales (CT) y *E. coli*. Para verificar la remoción de estas últimas con el coagulante.

5.4 Resultado y discusión

5.4.1 Área de estudio

El área de estudio de esta investigación fue la vereda Tambora, perteneciente al corregimiento de San Isidro. El cual se encuentra ubicado en el oriente del municipio de San Pelayo-Córdoba, aproximadamente a $8^{\circ}49' - 8^{\circ}53' \text{ N}$ y $75^{\circ}48' - 75^{\circ}48' \text{ O}$ del meridiano de Greenwich (Alcaldía de San Pelayo, 2017) (figura 32).

Figura 32. Ubicación geográfica área de estudio



Fuente: Google Earth, 2017.

5.4.2 Características fisicoquímicas de las muestras de agua cruda

Los muestreos de agua cruda cubrieron parte de la temporada seca y de lluvias en la región en el año 2017. A continuación, en la tabla 2 se indican las condiciones iniciales de las muestras de agua cruda.

Tabla 5. Características fisicoquímicas del agua cruda

Características del agua cruda	Turbiedad (UNT)	pH	Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)	T (°C)
Muestra 1	37,65	7,26	124	27
Muestra 2	145	7,51	36	28
Muestra 3	247,67	7,07	38	26.5

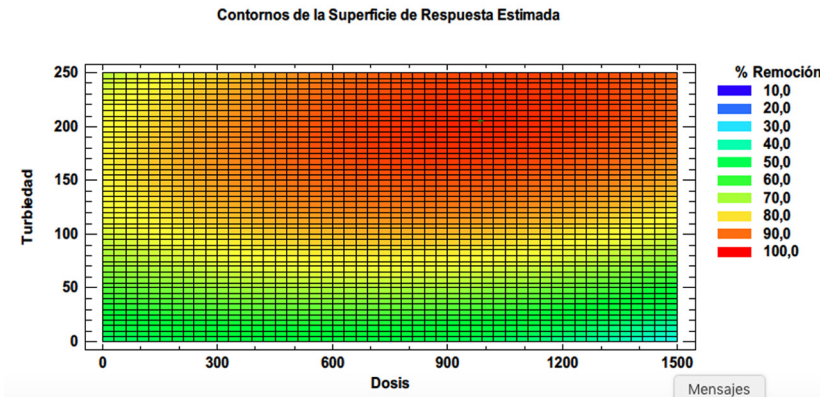
Fuente: elaboración propia.

5.4.3 Eficiencia de coagulación de la tuna fresca

Para determinar la eficiencia del coagulante a base de tuna se realizó las condiciones de operación en los test de jarras y midiendo los parámetros físico-químicos de interés antes y después de la aplicación del coagulante. En las figuras 33 y 34 se muestran los diagramas de contorno de la actividad coagulante obtenidos con el modelo de superficie de respuesta para el coagulante a base de tuna, donde se puede observar el comportamiento de la dosis (eje x), turbiedad inicial (eje y) y porcentaje de remoción de turbiedad (contornos coloreados). De acuerdo con la figura 34, se puede observar que para todo el rango de dosis ensayadas (250 a 1.250 mg/L) y niveles de turbiedad inicial mayores a 100 UNT con un tiempo de mezcla lenta de cinco minutos, se logra llegar a remociones cercanas al 100 %; ninguna de las dosis logra remover el 100 % de turbiedades bajas (menores a 100 UNT), lográndose un máximo de remoción de hasta el 80 %.

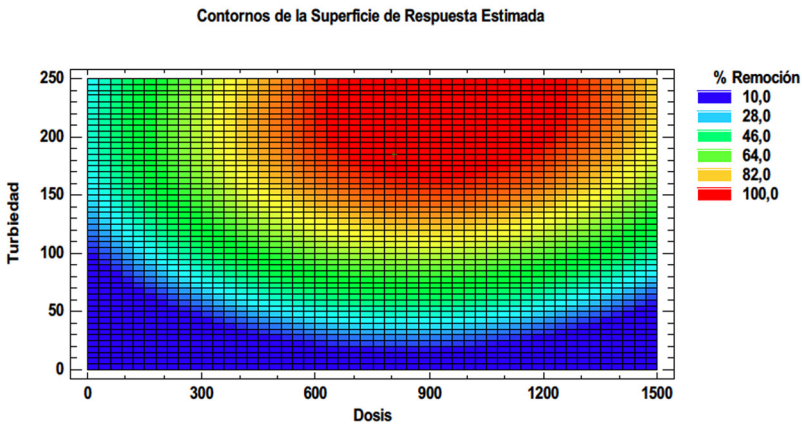
La figura 34 muestra la relación entre la dosis del coagulante, la turbidez residual y el porcentaje de remoción para un tiempo de mezcla lenta de 10 minutos. En este gráfico de contorno se puede observar que para el rango de dosis de 500 a 1250 mg/L y turbiedades mayores a 150 UNT, se llega a remociones cercanas al 100 %; ninguna de las dosis logra remover el 100 % de turbiedades bajas (menores a 150 UNT), lográndose un máximo de remoción de hasta el 80 %.

Figura 33. Gráfico de contorno para la actividad coagulante con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Gráfico de contorno para la actividad coagulante con tiempo de mezcla lenta de 10 minutos



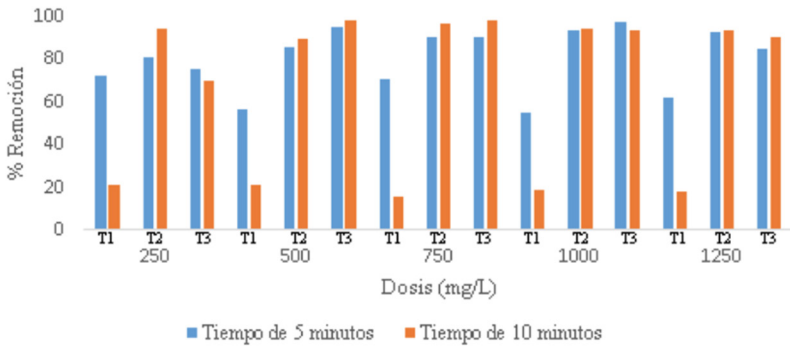
Fuente: elaboración propia.

Es evidente que el coagulante natural a base de tuna no fue eficiente en turbiedades bajas. Esto se puede explicar por la influencia de la dosis y de la turbiedad del agua cruda, así como las condiciones operativas del test de jarras. Para cada turbiedad existe una cantidad estequiométrica

de coagulante, con la que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima (Andía, 2000). Los resultados de la actividad coagulante del mucílago de tuna están de acuerdo con los reportados por Villabona *et al.*, (2013), donde se encontró que el polvo extraído de la plana *Opuntia ficus-indica*, tiene la capacidad de remover el 85 % de turbiedad en aguas crudas con alta turbidez inicial, y que no altera significativamente el pH. De acuerdo con Olivero, Aguas, Mercado, Casas y Montes (2014) también se puede evidenciar que la dosis de coagulante no influye mayormente en la clarificación del agua, como sí lo haría el tipo de coagulante y las condiciones del test de jarras.

El rango de dosis óptima recomendado para las condiciones operativas del test de jarras es de 500 a 750 mg/L, logrando ser las menores dosis que remueven la mayor turbiedad del agua, y las de mejor relación costo-beneficio. Para ambos tiempos de mezcla lenta, el comportamiento de remoción de turbidez fue similar pero un poco mayor con tiempo de 10 minutos para turbiedades media y alta (figura 35).

Figura 35. Remoción de turbiedad para los dos tiempos de mezcla lenta, con turbiedad inicial: T1 = 37.65 UNT, T2 = 145 UNT, T3 = 247.67 UNT

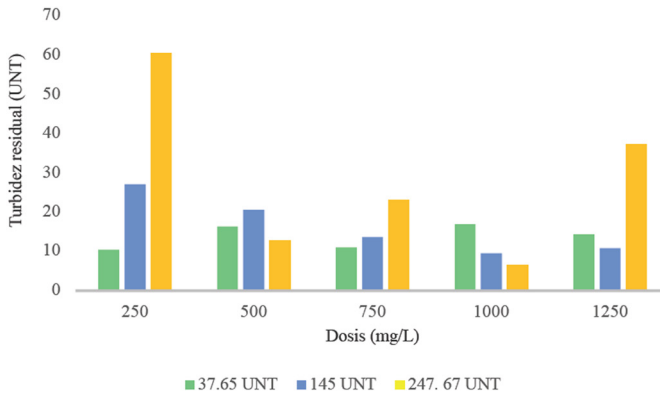


Fuente: elaboración propia.

Aunque a través del análisis de varianza (ANOVAS) no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos tiempos de mezcla lenta (cinco y diez minutos) sobre la remoción de turbiedad para todas las dosis y turbiedades ensayadas; por lo que se puede optimizar esta condición disminuyendo el tiempo hasta cinco minutos de agitación

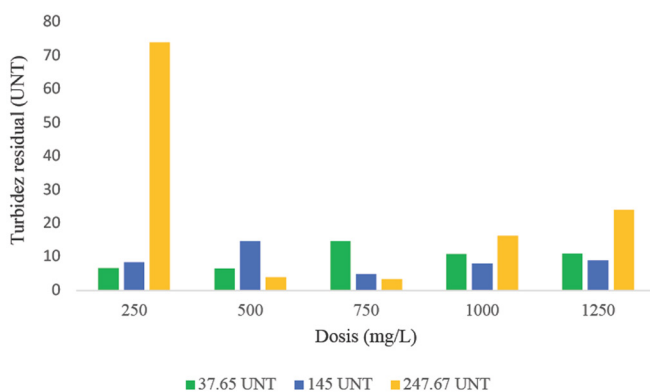
a 40 rpm. Consecuentemente para conocer el comportamiento de la turbidez residual en las muestras de agua tratadas, se realizaron gráficos de columnas que muestran la relación entre las dosis aplicadas vs. turbidez residual con respecto a los diferentes valores de turbidez inicial del agua cruda y tendencias (figuras 36 y 37). En estas figuras la tendencia de los valores finales de turbidez o turbiedad residual para el agua tratada con el coagulante a base de tuna fresca, se observa que con las dosis de 250 y 1250mg/L (dosis más baja y alta respectivamente) y el mayor nivel de turbiedad inicial (248 UNT), se obtiene la menor remoción y por ende los valores más altos de turbiedad residual, entre 25 y 60 UNT. La mayoría de las dosis ensayadas revelan alta remoción de turbiedad y valores bajos de turbidez residual, el mejor rango de dosis se da entre 500 y 1000 mg/L, para todos los niveles de turbiedad inicial, resultados que se comprobaron con la metodología de superficie de respuestas visualizadas a través de los gráficos de contorno.

Figura 36. Turbiedad residual con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Turbidez residual con tiempo de mezcla lenta de diez minutos

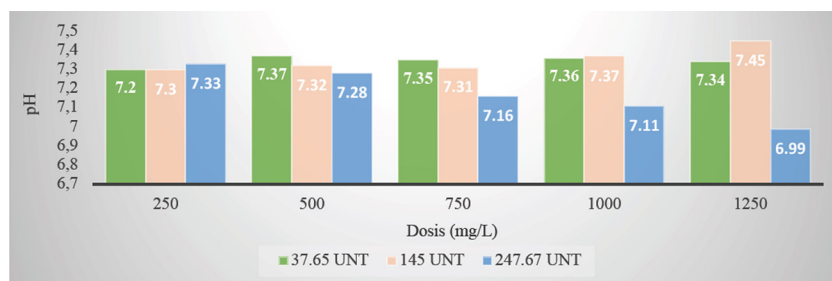


Fuente: elaboración propia.

5.4.4 Comportamiento del pH

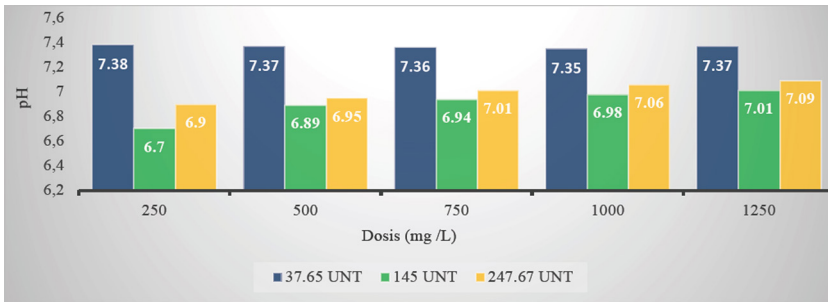
El pH de las muestras de agua tratadas tuvo valores entre 6,7 y 7,45. Con una confiabilidad del 95 %, los valores de pH no presentaron variaciones significativas en el rango de dosis ensayadas, cuando se aplicó el coagulante natural. Los resultados de pH para las muestras de agua tratada, se encuentran dentro los valores admisibles por la norma colombiana, Resolución 2115 del 2007 (pH = 6,5 - 9) (figuras 38 y 39).

Figura 38. Comportamiento del pH con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Comportamiento del pH con tiempo de mezcla lenta de diez minutos

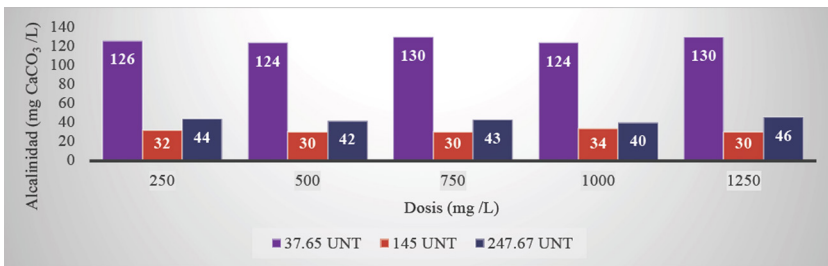


Fuente: elaboración propia.

5.4.5 Comportamiento de la alcalinidad

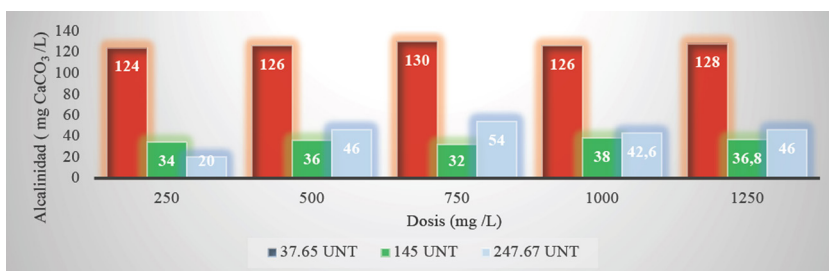
La alcalinidad de las muestras de agua tratada tuvo valores entre 20 y 130 mg CaCO₃/L. Estas variaciones de la alcalinidad total no fueron significativas, con una confiabilidad del 95 % esta característica se mantiene constante en el rango de dosis ensayadas, con valores menores al aceptable por la norma colombiana, Resolución 2115 del 2007 (200 mgCaCO₃/L) (figuras 40 y 41).

Figura 40. Comportamiento de la alcalinidad con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Comportamiento de la alcalinidad con tiempo de mezcla lenta de diez minutos



Fuente: elaboración propia.

Una vez identificado los rangos de dosis óptima que lograron remover la mayor turbiedad del agua, sin alterar el pH y la alcalinidad del agua, y optimizado el tiempo de mezcla lenta, se procedió a verificar si las dosis propuestas (500 y 750 mg/L) eran capaces de remover DQO, SSED, coliformes totales y *E. coli*, para lo cual se caracterizó y trató una nueva muestra de agua cruda, obteniendo los siguientes resultados (tablas 6 y 7).

Tabla 6. Características de la muestra de agua con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos y dosis de 500 mg/L

Características	Dosis		
	500 mg/L		
	Valor inicial	Valor final	Porcentaje de remoción
Turbiedad (UNT)	185	13,2	95,3
pH	8,02	7,95	Δ pH = 0,07 Promedio = 7,97
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	202	190	Δ Alc. = 12 Promedio = 190,0
DQO (mg O ₂ /L)	42,66	53,33	0,1
SSED (mL/L)	0,40	0,08	50
Coliformes totales (NMP/100mL)	83	80	4,5
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	22	21	1,2

Nota: a los valores de pH y alcalinidad se les hizo un promedio y se calculó su diferencia con respecto al valor inicial y final (Δ pH y Δ Alc.).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Características de la muestra de agua con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos y dosis de 750 mg/ L

Características	Dosis		
	750 mg/L		
	Valor inicial	Valor final	Porcentaje de remoción
Turbiedad (UNT)	185	10,2	98,1
pH	8,02	8,00	Δ pH = 0,02 Promedio = 7,97
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	202	185	Δ Alc. = 17 Promedio = 190,0
DQO (mg O ₂ /L)	42,66	10,66	75,1
SSED (mL/L)	0,40	0,10	80,0
Coliformes totales (NMP/100mL)	83	65	49,4
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	22	18	72,7

Nota: a los valores de pH y alcalinidad se les hizo un promedio y se calculó su diferencia con respecto al valor inicial y final (Δ pH y Δ Alc.)

Fuente: elaboración propia.

Los valores de DQO indican que hay presencia de materia orgánica tanto en el agua cruda como en el agua clarificada, al igual que microorganismos patógenos cuantificados como coliformes totales y *E. coli*. Es de saber que la materia orgánica, los coliformes totales y la *E. coli* no deben estar presentes en agua potable, por lo que seguido al proceso de clarificación, se debe aplicar la desinfección al agua tratada.

En las tablas 6 y 7 se observó que la dosis de 750mg/L, era la dosis óptima, al tener mayor actividad coagulante que la de 500mg/L. Una vez identificada la dosis óptima, se procedió a optimizar el tiempo de sedimentación, tomando una muestra de agua cruda de 185 UNT y sometiéndola a las siguientes condiciones del test de jarras: mezcla rápida 200rpm/1min, mezcla lenta 40rpm/5min y tiempo de sedimentación de 1 a 20 minutos. En la tabla 8, para cada minuto de sedimentación se logran remociones significativas de turbiedades cercanas o mayores al 90 %, pero el mejor porcentaje de remoción del 98,1 % con turbiedad

residual de hasta 3,5 UNT, se logra a los 20 minutos de reposo. De acuerdo con estos resultados y lo indicado por los análisis de varianza (ANOVAS), no hubo diferencias significativas entre los porcentajes de remoción de turbiedad para los diferentes tiempos de sedimentación, por lo que se pueden sugerir tiempos de sedimentación desde un minuto, preferiblemente usando las muestras de agua superficiales de las jarras, a no más de 5 cm de profundidad.

Tabla 8. Turbiedad residual y porcentaje de remoción en los diferentes tiempos de sedimentación

Tiempo de sedimentación (minutos)	Dosis: 750mg/L Tiempo de mezcla lenta: cinco minutos	
	Turbiedad residual	Porcentaje de remoción de turbiedad
1	22,0	88,13
2	9,4	94,93
3	8,3	95,54
4	6,9	96,27
5	5,1	97,26
6	5,9	96,82
7	19,8	89,31
8	6,9	96,26
9	7,3	96,08
10	8,2	95,59
11	5,9	96,82
12	20,1	89,13
13	6,2	96,65
14	8,0	95,66
15	5,4	97,06
16	7,1	96,17
17	8,5	95,41
18	7,7	95,83
19	5,5	97,01
20	3,5	98,09

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el análisis anterior, se recomiendan las siguientes condiciones de coagulación para el uso de tuna fresca como coagulante natural: dosis óptima de 750 mg/L, mezcla rápida de 200rpm por un minuto, mezcla lenta de 40 rpm por cinco minutos y tiempo de sedimentación desde un minuto, para un total de siete minutos, disminuyendo así los tiempos del proceso de clarificación, con miras a su aplicación *in situ*.

5.5 Conclusiones

El mucílago de tuna fresca tiene un alto poder coagulante, logra valores de remoción de turbiedad de hasta el 98 %, QDO de 75 %, SSED del 80 %, coliformes totales 49 % y *E. coli* 73 %, sin alterar el pH y la alcalinidad del agua tratada.

La dosis óptima del coagulante natural a base de tuna fresca tuvo valor de 750 mg/L siendo una cantidad pequeña, de fácil adquisición, preparación y aplicación.

La Tuna fresca representa una alternativa de coagulación para el tratamiento de aguas en comunidades rurales, vulnerables, con pocos recursos financieros y sin acceso a agua potable.

Las condiciones de operación del test de jarras se optimizaron disminuyendo el tiempo de mezcla lenta hasta cinco minutos y el tiempo de sedimentación desde dos minutos, garantizando así remociones de turbiedad mayores al 90 %, lo que representa un tiempo de duración total de tan solo ocho minutos.

La tuna fresca representa una alternativa de coagulación para el tratamiento de aguas en comunidades rurales, vulnerables, con pocos recursos financieros y sin acceso a agua potable.

Referencias

- Alcaldía de San Pelayo. (2016). Territorios, corregimiento San Isidro. <http://www.sanpelayo-cordoba.gov.co/index.shtml?apc=v-xx1-&x=2675697>
- American Public Health Association. APHA. (2005). *Standard methods for examination of water and wastewater* (21 ed.). APHA.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Antov M., Sciban M. y Prodanovic J. (2012). Evaluation of the efficiency of natural coagulant obtained by ultrafiltration of common bean seed extract in water turbidity removal. *Ecological Engineering*, 49, 48– 52.
- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. McGraw Hill.
- Ávila, C. (2015, 22 de marzo). ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15445939>
- Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C. y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Rev.U.D.C.A. Act. & Div. Cient.*, 16(1), 253-262.
- Lédo, P., Lima, R., Paulo, J. y Duarte, M. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de moringa oleífera para la depuración de aguas con baja turbiedad. *Información Tecnológica*, 20(5), 3-12.
- Ministerio de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007, 22 de junio). Resolución número 2115 por medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua potable para el consumo humano. https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf
- Norma ASTM-D2035 (2008). *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*. ASTM International.
- Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas D. y Montes, L. (2014). Utilización de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación en Ingeniería*, 11(1), 1-6 .<http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art7.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. OMS. (2007). Lucha contra las enfermedades transmitida por el agua en los hogares. http://www.who.int/household_water/advocacy/combating_disease_es.pdf

- Organización Mundial de la Salud. OMS. (2012). Progreso en materia de agua potable y saneamiento. http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/mdg_es.pdf
- Ramírez, H. y Jaramillo J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/1303/1359>
- Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS. (2000). *Sección II Título C: Sistemas de potabilización*. Recuperado de https://procurementnotices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- Rodríguez, C. (2008). Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable (Tesis de pregrado, Universidad de Sucre), Sincelejo. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000101&pid=S1909-0455201300010000300018&lng=es
- Solís, R., Laines, J. y Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28(3), 229-236.
- Villabona, A., Paz, I. y Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/32768>

Capítulo 6.

Modelo de biodigestores para la producción porcina en la granja La Nueva Gloria

Iván Sepúlveda Calderín³⁰

Julio Hernández González³¹

Rubén Sepúlveda Vargas³²

Humberto Tejada Bustos³³

Daniel Espinosa Corrales³⁴

Carlos Wilches Bonilla³⁵

Resumen

El presente trabajo describe los beneficios de un modelo de biodigestor para la gestión de excreta de la producción porcina en la granja La Nueva Gloria ubicada en la vereda Suárez del municipio de Ciénaga de Oro, Córdoba. Se realizó una revisión documental de las normas ISO 14.001 y de la teoría de la gerencia ambiental, donde se evidenció las bondades del modelo PHVA para las actividades de mejoramiento de calidad ambiental en el contexto empresarial. Los resultados indican que la tecnología de biodigestores ofrece una gama de

30 Administrador de empresas, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. Correo: Ivandarios200@hotmail.com.

31 Estudiante de Economía, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. Correo: julio.rhg17@gmail.com.

32 Magíster en Economía y doctor en Ciencias Sociales. Docente investigador programa de Economía, Universidad Pontificia Bolivariana, de Montería. Correo: ruben.sepulveda@upb.edu.co.

33 Administrador de empresas, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. Correo: humbertotejadab@gmail.com

34 Director del programa de Ingeniería Mecánica. Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. Correo: daniel.espinosac@upb.edu.co

35 Docente investigador Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Correo: carlos.wilches@upb.edu.co

beneficios sociales, económicos y ambientales que aportan a que la producción y el desarrollo organizacional sean más sostenibles.

Palabras clave: gerencia ambiental; modelos de gestión ambiental; modelo PHVA; desarrollo sostenible.

Abstract

The present work describes the benefits of a biodigester model for the management of excreta from pig production in the Granja la Nueva Gloria located in the Suárez district of the municipality of Ciénaga de Oro Córdoba. A documentary review of the ISO 14.001 standards and of the theory of environmental management was carried out, where the benefits of the PDCA model for environmental quality improvement activities in the business context were evidenced. The results indicate that biodigester technology offers a range of social, economic and environmental benefits that contribute to making production and organizational development more sustainable.

Key words: environmental management; environmental management models; PDCA model; sustainable development.

6.1 Introducción

Debido al inminente deterioro ambiental a través de los años, las personas se han venido interesando cada vez más en el desarrollo de una economía sostenible que permita el bienestar de todas las partes. Las economías porcicultoras no han sido la excepción, en especial en el tema de residuos sólidos orgánicos, ya que, por la naturaleza de los cerdos, se generan desechos que de no ser bien gestionados pueden causar impactos sociales, económicos y ambientales negativos.

El presente trabajo surge de la necesidad de la granja La Nueva Gloria de realizar un mayor apoyo al tema ambiental, social y económico, con el propósito final de impulsar los mercados de cerdos, mejorar el desempeño ambiental organizacional y disminuir los impactos derivados de las excretas en la producción porcina. Por lo anterior, el presente trabajo analizó los modelos de gestión de excretas porcina a través de los fundamentos de la gerencia ambiental con el fin de iniciar una producción con orientación ecológica en la granja La Nueva Gloria ubicada en el municipio de Ciénaga de Oro, Córdoba.

Así se ha decidido tomar una granja porcícola llamada La Nueva Gloria, ubicada en el sector de Ciénaga de Oro, Córdoba, la cual presenta un sistema de producción a pequeña escala y tradicional, donde se presenta una inadecuada gestión ambiental e informalidad en sus procesos. La gestión de los residuos orgánicos se ha convertido en un problema de alto impacto, los desechos generados en la granja desembocan en un caño o afluente de agua aledaño a otras fincas agrícolas, pasando a ser no solo una problemática ambiental y productiva sino también una social.

Lo anterior genera malos olores, cambios en la composición del agua e impactos medioambientales, es por esto que dentro de todas las problemáticas anteriormente expuestas tomaremos como punto de partida la última asociada a la gestión de excretas sólidas y líquidas en este caso aplicada en la región de Córdoba, específicamente en la finca llamada La Nueva Gloria con el fin de disminuir los impactos ambientales relacionados con la producción porcina.

6.2 Marco teórico

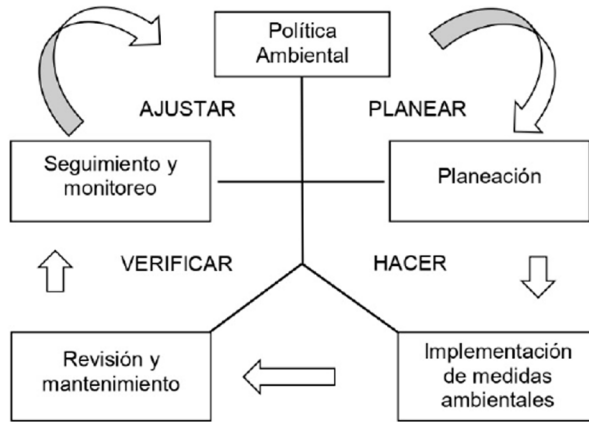
La gestión ambiental ha avanzado notablemente en la América Latina y el Caribe en la última década, particularmente después de haberse celebrado la Conferencia de Río de Janeiro sobre medio ambiente y desarrollo. Existe una mayor conciencia y responsabilidad pública sobre los problemas ambientales y se cuenta con una mejor comprensión de las complejas relaciones existentes entre medio ambiente y desarrollo, hecho que se refleja en la ampliación de la agenda ambiental que paulatinamente ha ido permeando hacia los diversos sectores de la actividad económica, social y política de los países (Rodríguez y Espinoza, 2002).

La gestión ambiental puede ser abordada bajo diversas perspectivas y con diferentes escalas. Por ejemplo, se puede centrar en el ámbito rural o urbano, en una política específica (ejemplo: contaminación del aire de un centro urbano, etc.), en una amenaza ambiental global (ej. impacto de emisiones sobre el calentamiento de la tierra, etc.), en el impacto ambiental de una actividad económica específica (minería, energía, agricultura, etc.), o en la conservación y uso sostenible de un recurso estratégico (bosques, aguas, etc.).

La gestión ambiental, por lo tanto, puede ser abordada a distintos niveles de gobierno (federal o central, provincial o estatal, municipal, etc.), o de grupos del sector privado en su concepción amplia, o en diversos ámbitos territoriales (global, regional, subregional, nivel metropolitano, ciudades, barrios, poblados, cuencas hidrográficas, etc.) (Rodríguez y Espinoza, 2002). De acuerdo con Icontec (2015) un sistema de gestión de calidad ambiental (SGAC) se basa principalmente en la normas ISO 14001, la cual proporciona a las organizaciones un marco de referencia para proteger el ambiente y responder oportunamente a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas a través del modelo PHVA, planear, hacer, verificar y actuar propuesto originalmente por Edwards Deming.

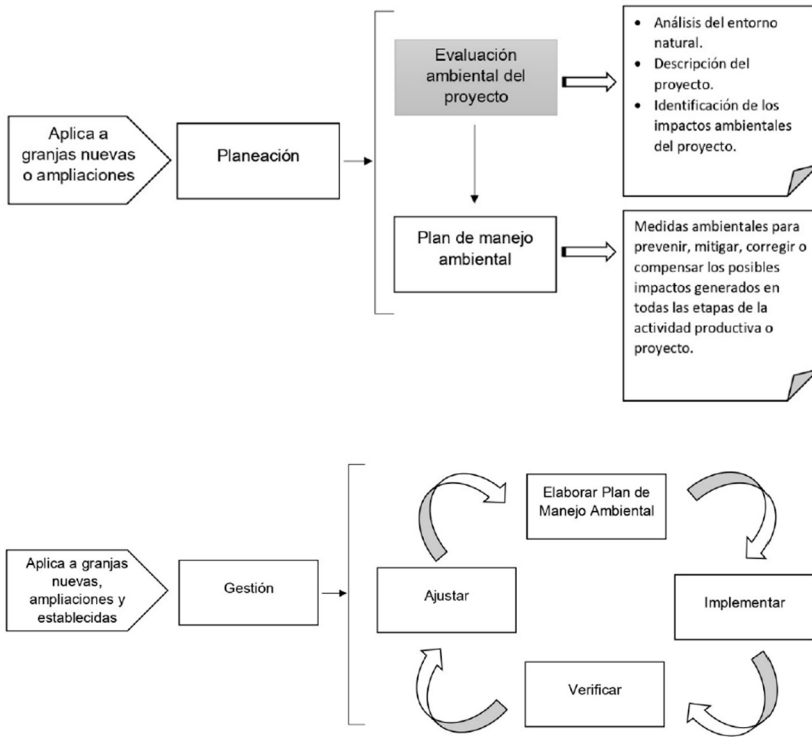
En las figuras 42 y 43 se muestra el esquema para el diseño de un modelo de gestión ambiental a partir de las regulaciones definidas por las autoridades competentes o la autoridad ambiental de la empresa, si existe.

Figura 42. Esquema de gestión ambiental



Fuente: Asociación Colombiana de Porcicultores (2002).

Figura 43. Planeación y gestión de un sistema productivo



Fuente: ACP (2002).

6.3 Metodología

Apoyado en el enfoque metodológico cualitativo, con método de análisis documental, se realizó revisión de literatura de textos y artículos científicos de la gerencia ambiental orientada a la gestión de excretas. Además, se consultó la norma ISO 14.001 para comprender los temas de mejoramiento continuo en el contexto organizacional, apoyado en las nociones del modelo PHVA. Dentro de los instrumentos utilizados se señala las fichas bibliográficas y de contenido para la organización de la información recolectada. Revisada las bondades teóricas del modelo de gestión de excretas a través de biodigestores, se procedió a ajustar este al esquema del PHVA propuesto por las ISO 14.001, la cual brinda

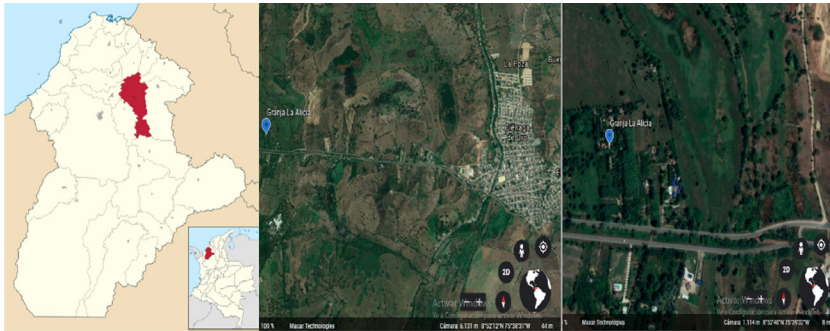
los lineamientos esenciales para realizar una correcta implementación de un sistema de gestión ambiental en las empresas, empezando con el diagnóstico organizacional se desarrolló visita de campo donde se realizaron entrevistas abiertas a el dueño de la empresa y al operario porcícola de la granja, sin omitir a especialistas del tema porcícola.

6.4 Resultados y discusión

6.4.1 Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la granja La Nueva Gloria perteneciente a la vereda Suárez del municipio de Ciénaga de Oro, departamento de Córdoba, entre las coordenadas $8^{\circ}52'57''$ N y $75^{\circ}39'20''$ W (figura 44).

Figura 44. Ubicación geográfica área de estudio



Fuente: Google Earth, 2019.

6.4.2 Modelo de gestión ambiental por biodigestores

La biomasa se refiere a la materia orgánica que se genera de los procesos naturaleza del ecosistema como lo es la vegetación y los desechos naturales tanto de animales como de plantas. Es a través de un proceso bioquímico anaerobio (en ausencia de oxígeno) que esta biomasa tiene la capacidad de transformar cierto porcentaje de este en biogás (Olaya y González, 2009; Julca, Meneses, Blas y Bello, 2006). Es una mezcla de gas producido por

bacterias metanogénicas que transforman este material en determinadas condiciones, donde se genera una composición de metano (60 % a 80 %), dióxido de carbono (30 % a 40 %) de dióxido de carbono y entre otros gases (nitrógeno, ácido sulfhídrico, monóxido de carbono e hidrógeno) (Arévalo y Zambrano, 2007; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2011). Es entonces la digestión anaeróbica un proceso donde se degrada el sustrato generando biogás y además generando un efluente que puede ser reutilizado, agregando a lo anterior el biodigestor es un sistema de trata de residuos orgánicos el cual tiene como objetivo la utilización de estos últimos para la generación de un valor agregado a partir de estos y con esto mitigando el impacto ambiental de la producción porcina.

Dentro de los biodigestores, y a lo largo de los años, han surgido diferentes metodologías de implementación y métodos que varían por los materiales, costos, dimensiones, formas de tratamientos, entre otros factores, dependiendo de las características del momento y del entorno. Para este caso de estudio, se decidió que el tipo de biodigestor mejor adaptable para la situación de la granja es el de tipo Taiwán o de balón de plástico, es continuo y de estructura flexible, el ingreso a este no se interrumpe gradualmente y se puede ajustar a los requerimientos del implicado (Fundacion Hábitat, 2005; Olaya y Gonzales, 2009; Arrieta, 2016), se señala que este surgió alrededor del año 1960 en Taiwán. Hacia el año 1986 se comenzó a divulgar este sistema por el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (Cipav) el cual ya utilizaba polietileno como material base para la construcción de estos.

Según la ACP (2002) los materiales necesarios para la construcción de un biodigestor son los siguientes; polietileno tubular o geomembranas, tubos cerámicos, tubos PVC, adaptadores PVC, lavanderas de caucho, *perspex*, neumáticos de bicicleta, botella de plástico transparente, codos PVC, tubo de cemento PVC, cemento y materiales para protección según se prefiera. Con base a lo anterior y a lo expuesto en las bases teóricas, en la tabla 9 se describen los aspectos relevantes para el tratamiento de excretas en la producción porcina apoyado en el PHVA para biodigestores.

Tabla 9. PHVA de Biodigestores

PLANEA		Impacto directo negativo sobre recursos naturales que lo rodean.										
	Impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: eutrofización, disminución del oxígeno en el agua, contaminación por componentes químicos, cont. Por elevado nitrógeno aguas subterráneas. • Suelo: colmatación de los poros, degradación estructural, desarrollo de microorganismos patógenos • Aire: emisiones de amoniaco y metano, efecto invernadero, expulsión de polvo orgánico, malos olores. 										
	Aspecto legal y política organizacional	<p>Aspecto legal: seguimiento a normas ambientales ya estipuladas y control de parámetros según la Resolución 0631 del 2015, y en caso de reúso del material líquido, debe seguirse por los parámetros de la Resolución 1207 de 2014 y en biosólidos 1287 de 2014</p> <p>Políticas: interés primordial de la empresa con armonizar la producción y el ambiente.</p>										
	Objetivos y metas	<p>Objetivo: implementar modelo de gestión para una producción sostenible, donde se eviten en una gran proporción los impactos ambientales de las excretas y estas puedan ser reutilizadas para biogás y efluente para riego.</p>										
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Metas:</th> <th style="width: 50%;">Indicadores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1: disminución de la materia orgánica excretada contaminante del 30 % en un plazo de seis meses.</td> <td> <p>I1:</p> $\frac{\text{Excreta expulsada final} - \text{excreta expulsada inicial}}{\text{Excreta expulsada inicial}} \times 100$ </td> </tr> <tr> <td>M2: en un plazo de seis meses, cumplir por lo menos el 30 % de los parámetros de vertimiento aprobados según la norma.</td> <td> <p>I2:</p> $\frac{\text{Parametros aprobados}}{\text{Total de parametros}} \times 100$ </td> </tr> <tr> <td>M3: en un plazo de doce meses, se hayan cumplido a cabalidad el marco legal que rige esta práctica.</td> <td> <p>I3:</p> $\frac{\text{Nº total de normatividad por cumplir}}{\text{Total de normatividad ambiental}} \times 100$ </td> </tr> <tr> <td>M4: producción de biogás utilizable, que contribuya la disminución de los costos de la compra de gas en la granja en un 20 %, dentro de seis meses.</td> <td> <p>I4:</p> $\frac{\text{Consumo final de gas} - \text{consumo inicial de gas}}{\text{Consumo inicial de gas}} \times 100$ </td> </tr> </tbody> </table>	Metas:	Indicadores	M1: disminución de la materia orgánica excretada contaminante del 30 % en un plazo de seis meses.	<p>I1:</p> $\frac{\text{Excreta expulsada final} - \text{excreta expulsada inicial}}{\text{Excreta expulsada inicial}} \times 100$	M2: en un plazo de seis meses, cumplir por lo menos el 30 % de los parámetros de vertimiento aprobados según la norma.	<p>I2:</p> $\frac{\text{Parametros aprobados}}{\text{Total de parametros}} \times 100$	M3: en un plazo de doce meses, se hayan cumplido a cabalidad el marco legal que rige esta práctica.	<p>I3:</p> $\frac{\text{Nº total de normatividad por cumplir}}{\text{Total de normatividad ambiental}} \times 100$	M4: producción de biogás utilizable, que contribuya la disminución de los costos de la compra de gas en la granja en un 20 %, dentro de seis meses.	<p>I4:</p> $\frac{\text{Consumo final de gas} - \text{consumo inicial de gas}}{\text{Consumo inicial de gas}} \times 100$
	Metas:	Indicadores										
M1: disminución de la materia orgánica excretada contaminante del 30 % en un plazo de seis meses.	<p>I1:</p> $\frac{\text{Excreta expulsada final} - \text{excreta expulsada inicial}}{\text{Excreta expulsada inicial}} \times 100$											
M2: en un plazo de seis meses, cumplir por lo menos el 30 % de los parámetros de vertimiento aprobados según la norma.	<p>I2:</p> $\frac{\text{Parametros aprobados}}{\text{Total de parametros}} \times 100$											
M3: en un plazo de doce meses, se hayan cumplido a cabalidad el marco legal que rige esta práctica.	<p>I3:</p> $\frac{\text{Nº total de normatividad por cumplir}}{\text{Total de normatividad ambiental}} \times 100$											
M4: producción de biogás utilizable, que contribuya la disminución de los costos de la compra de gas en la granja en un 20 %, dentro de seis meses.	<p>I4:</p> $\frac{\text{Consumo final de gas} - \text{consumo inicial de gas}}{\text{Consumo inicial de gas}} \times 100$											

M5: el efluente descontaminado contribuya en un 30 % a la fertilización y riego de plantas y cultivos del sector, en un plazo de un año.

I5:

$$\frac{\text{Costos evitados en fertilizantes}}{\text{Gastos en fertilizante total}} \times 100$$

$$\frac{\text{Consumo final de agua} - \text{consumo inicial de agua}}{\text{Consumo inicial de agua}} \times 100$$

Programa de gestión

- Biodigestor de tipo taiwanés o de balón de plástico:
1. Formalización de la intención de implementar un MGA por medio de biodigestores.
 2. Asesoría o contratación de personal experto en realización de biodigestores y trata de excretas orgánicas.
 3. Caracterización de factores ambientales:
 - a) PH: 6,6 a 7,6 dentro del biodigestor
 - b) Relación Alcalinidad - AGV: entre 0,2 - 0,4.
 - c) Temperatura: 30 °C a 35 °C si varía la temperatura el tiempo de retención cambia.
 - d) Nutrientes: relación apropiada de DBO/N/P de 100/5/1.
 - e) Toxicidad: tratar de separar residuos químicos de residuos orgánicos.
 - f) Nivel de carga: carga de materia orgánica fresca y descargue de manera continua. En porcinos 4 kg por cada 100 kg del peso del animal.
 - g) Tiempo de retención: en porcinos 35 °C con un TR de 21 días genera 90 % de gas.
 - h) Relación carbono nitrógeno: relación C/N alta, es decir, un DBO mayor a 1000mg/l
 4. Medición de parámetros críticos para la construcción de un biodigestor.

Estiércol disponible, en cerdos 4 kg por cada 100 kg

 - a) Tiempo de retención de sólidos
 - b) Proporción de la carga 1:4 estiércol-agua respectivamente
 - c) Volumen del biodigestor normalmente 75 % fase líquida y 25 % gaseoso
 - d) Producción de biogás y biofertilizante, en cerdos 51 L de biogás por día por cada kilo de estiércol fresco y para este clima, 25 días de retención para el fertilizante
 - e) Retención de lodos viables dentro del reactor
 - f) Contacto entre el lodo y el sustrato
 - g) Velocidad de reacción
 - h) Transferencia de masa
 5. Etapa de diseño y cálculo
 - a) Producción de heces y orina
 - b) Cantidad de agua a mezclar, relación 1:4 o en su defecto 1:2
 - c) Cálculo del volumen del biodigestor, dependiendo de la cantidad de excreta y sumándole el 25 % de componente gaseoso y añadiendo 30 % por posibles cambios en la cantidad de excreta.
 - d) Cálculo de la longitud
 - e) Cálculo de tamaño de fosa
 - f) Cálculo del biogás generado

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">PLANEA</p>	<p>Programa de gestión</p>	<ol style="list-style-type: none"> 6. Determinación del espacio a utilizar, normalmente un are de 1m * 10m 7. Composición del terreno: terreno firme, sin ningún material que pueda romper el polietileno. 8. Excavación de la fosa según cálculos realizados 9. Construcción de caja y conexión de tuberías a la entrada y salida del biodigestor 10. Construcción de un invernadero para protección del biodigestor 11. Implemento para medir caudal de agua y de excretas 12. Se procede a la elaboración del biodigestor: <hr/> <p>a) instalación para el sistema de salida del biogás, b) acople del polietileno o geomembranas a las tuberías del biodigestor, c) instalación de tuberías de conducción, d) instalación de válvulas de seguridad , e) construcción de trampa de agua para la impermeabilización, f) instalación del filtro de ácido sulfhídrico, g) instalación del sistema de utilización de biogás, h) instalación de sistema para utilización de efluente, preferiblemente que pase por medio granular para segundo filtrado, i) Se procede al llenado con algún tipo de humo para detectar posibles fugas, y por último j) se procede con el llenado inicial, según la capacidad y proporción indicada.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN</p>	<p>Funciones y responsabilidades</p>	<p>La granja debe asegurarse de que las competencias del personal sean apropiadas al tipo de trabajo. Esta se asegura a través de la educación, formación y experiencia con la que se cuenta.</p> <p>Para el manejo diario del biodigestor es necesario una intensidad de por lo menos tres horas.</p> <p>En el caso de estudio, el encargado de las actividades de planeación y administración es el gerente de la empresa, y las actividades operacionales del biodigestor es el operario general, ya que, la intensidad laboral del operario porcícola no le permite este control. En caso de que no haya disponibilidad de tiempo se necesita una nueva contratación.</p> <p>Actividades necesarias:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Carga del biodigestor con las aguas residuales diariamente, luego del tiempo de retención inicial (evitar hacer cuando se está lavando la zona productiva por probabilidad de entrada de productos químicos). 2. Constante limpieza de las vías de conducción y cajas de entrada. 3. Seguimiento del caudal entrante al biodigestor, frente a la pérdida del equilibrio orgánico óptimo. 4. Control de los factores cruciales para el desarrollo, dos veces a la semana. 5. Revisión de posibles fugas en el sistema. 6. Remoción de residuales de agua lluvia y otros. 7. Revisión semanal del nivel de agua en la válvula de seguridad.

Recursos necesarios

Recursos necesarios para la implementación del MGE (modelo de gestión de excretas) por biodigestores:

- Infraestructura:
 1. Materiales necesarios para la implementación del modelo, en biodigestores de bajo costo su costo ronda los \$800.000 pesos colombianos.
 2. Terreno y área apropiada para la construcción y manejo del biodigestor
- Sistema de información:
 1. Documentación e instrumentos apropiados para la comunicación interna
 2. Implementos apropiados para la comunicación interna
 3. Contactos externos pertinentes para el desarrollo del modelo
 4. Contacto gremial para colaboración entre productores
 5. Contacto con asesor para el MGE
- Formación:
 1. Asociación con consultoras
 2. Vínculo con el SENA
 3. Capitaciones gremiales
- Tecnología:
 1. Dispositivo móvil
 2. Computador (no necesario)
 3. Software para registro de documentos, como Excel o Word
 4. Impresora
- Financieros:
 1. Recursos económicos necesarios para el desarrollo de la actividad
 2. Efectivo en caja para contingencias
- Operacionales:
 1. Implementos de seguridad, según normas de seguridad y salud en el trabajo
 2. Instrumentos para medir los factores cruciales como:
 - i. Potenciómetro
 - ii. Termómetro
 - iii. Recipiente volumétrico
 - iv. Herramientas para limpieza como recogedor, pala, escoba, guantes, entre otros

IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN	Proceso de capacitación	<p>La granja debe asegurarse de que las competencias del personal sean apropiadas al tipo de trabajo. Esta se asegura a través de la educación, formación y experiencia con la que se cuente.</p> <p>Temas de capacitación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Principios de sistema de gestión ambiental • Ahorro y uso eficiente del agua • Aspectos e impactos ambientales • Marco legal de la porcicultura • Orden y aseo • Bioseguridad animal • Plan de emergencia • Simulacro • Mitigación de riesgos del modelo • Uso del biodigestor • Mantenimiento del biodigestor • Riesgos y posibles inconvenientes del biodigestor 		
IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN	Comunicación interna y externa	Interna	Políticas, objetivos y metas	Carteleras, folletos, inducción
		Interna	Recursos	Presupuesto, actas de reunión
		Interna	Peligros, riesgos y controles	Inducción, capacitación
		Interna	Funciones, responsabilidades, autoridad y rendición de cuentas	Entrega de la descripción de cargos
		Interna	Programas de gestión ambiental	Folletos, capacitación, carteleras
		Interna	Procedimientos, programas y planes	Documentos internos, capacitación, charlas
		Interna	Resultados de auditoría	Informes de auditoría
		Interna	Acciones preventivas y correctiva	Registro de acciones preventivas y correctivas
		Interna	Requisitos legales	Registros internos
		Interna	Resultados de los indicadores de gestión	Reuniones, charlas
	Externa	simulacros	Charla, carta	

Documentación necesaria	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas organizacionales, objetivos y metas • Descripción del alcance del MGE • Manual de funciones organizacional o en su defecto actividades claves por función • Informe de impactos ambientales • Procedimientos en caso de emergencias • Marco legal de la porcicultura • Normas internas de trabajo • Documentación pertinente para el modelo como: <ul style="list-style-type: none"> - Matriz de riesgos operacionales - Documento de cumplimiento de actividades diarias - Documento de seguimiento de parámetros ambientales - Informe de control semanal - Registro de problemas presentados
Controles operacionales	<p>Para el control operacional, el jefe de esta área debe hacer seguimiento constante de las actividades realizadas y mediante el documento de cumplimientos evaluar el desempeño de las operaciones, además debe velar por el registro de los indicadores de gestión ya estipulados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de actividades –diario • Informe de problemas –semanal • Análisis de matriz de riesgo • Monitoreo de parámetros (temperatura, caudal, pH) –semanal • Informe de funcionamiento general y recolección de parámetros totales –seis meses • Análisis anual del sistema y cumplimiento de normativa –anual • Revisión de uso de recursos –semanal • Documentación diaria de producción de biogás • Documentación diaria de producción de fertilizante • Documentación de estado general del biodigestor – diario
Riesgos y respuesta ante emergencias	<p>Se recomienda establecer un programa de preparación de respuesta ante emergencias de acuerdo con la aplicación de la norma GTC 104 de 2009, que permita planificar acciones de prevención y mitigación y dar respuesta a estas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminución de eficiencia por alta acidez –acciones: <ul style="list-style-type: none"> ▫ Revisión de fuente del problema, posibles: <ul style="list-style-type: none"> - Cambio excesivo de la carga - Permanencia por largo tiempo sin carga - Presencia de productos tóxicos en la carga - Cambio frecuente de temperatura ▫ Consulta a jefe encargado ▫ Posibles respuestas: <ul style="list-style-type: none"> - Adición de agua con cal en la fase líquida - Vaciar el biodigestor - Detener el proceso, para la asimilación

	<p>Riesgos y respuesta ante emergencias</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Daño en el plástico –acción compra de plástico adecuado: tubular doble, calibre 8 y con protección UV. • Oxidación o ruptura de materiales poco resistentes a la corrosión –compra de materiales a base de acrílico y aluminio. • Fugas de gas –cierre de válvula y posterior corrección • Perforaciones en la bolsa con pequeños hoyos – parchar orificio.
SEGUIMIENTO Y VERIFICACIÓN	<p>Seguimiento continuo</p>	<p>Mediante la recopilación de datos expuestos anteriormente se realiza evaluación de estos y se evalúa si las metas correspondientes están en cumplimiento o en no conformidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar matrices de seguimiento de acuerdo: • a los planes de acción y actos administrativos • a las políticas y objetivos trazados • llevar a cabo seguimiento de matrices • elaboración de informes de seguimiento
	<p>Cumplimiento de las metas</p>	<p>Chequear las metas previamente establecidas a través del cumplimiento de los indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica excretada • Cumplimiento de parámetros legales • Producción de biogás • Producción de efluente para reúso • Emisión de olores • Capacitaciones
	<p>Identificación de incumplimientos y acciones correctivas</p>	<p>Establecer porcentaje de incumplimiento de las metas previamente trazadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica excretada • Cumplimiento de parámetros legales • Producción de biogás • Producción de efluente para reúso • Emisión de olores • Capacitaciones
	<p>Gestión de registros</p>	<p>Los registros son pertinentes para el constante seguimiento de las actividades realizadas, por lo que se debe mantener registro de los documentos pertinentes para el modelo.</p>
	<p>Auditorías internas</p>	<p>Este procedimiento lleva la evaluación de los procesos productivos que se realizan dentro de la granja, relacionados con el MGE. Implicados: gerencia o jefe encargado, auditor seleccionado.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Programación de la auditoría –anuales. 2. Descripción del perfil del auditor –según competencias adecuadas.

SEGUIMIENTO Y VERIFICACIÓN	Auditorías internas	<p>3. Actividades de la auditoría:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Inicio –preparación de la auditoria, informar al auditado, recolección de documentos, requisitos legales, fecha. b. Preparación –revisión específica de la información recolectada. c. Entrega del plan de auditoria propuesto por la dirección –objetivo y factores a evaluar en un formato correspondiente. d. Reunión de apertura –presentar al auditor y al auditado para posibles mejoras en el plan de auditoría. e. Verificación de la documentación. f. Hallazgos de la auditoría –estos pueden indicar conformidad, observación o no conformidad de acuerdo con los criterios de evaluación. g. Conclusiones –revisión de los hallazgos. h. Reunión de cierre –se presenta y se deja constancia de la auditoria y de los hallazgos realizados con el personal. i. Informe de auditoría. j. Finalización de la auditoria –registrar todo el proceso y guardar el antecedente. k. Seguimiento a la auditoria para planes de mejora.
----------------------------	---------------------	--

ACCIONES DE MEJORA	Revisión periódica de la dirección	<p>La dirección realiza una revisión anual del sistema de gestión ambiental de la granja. Actividades de revisión: a) revisión de resultados de auditorías internas, b) satisfacción de partes interesadas, c) quejas, reclamos y comunicación a partes externas, d) desempeño del sistema de gestión ambiental, e) estado de investigación de incidentes, f) estado de las investigaciones de acciones, e) correctivas, h) cambios requisitos legales, i) recomendaciones de mejora y por último j) acciones de mejora.</p>
	Identificar áreas de mejora	<p>Elaboración de un formato de acciones correctivas en el cual se incluya información de la auditoría interna y tenga en cuenta los siguientes aspectos: a) fecha, b) área, c) reporta, d) responsable, e) descripción de la no conformidad, f) acción correctiva, g) verificación de acción correctiva, h) fecha de verificación y por último i) firma responsable.</p>

Fuente: elaboración propia a partir de (Icontec, 2015; Fundación Hábitat, 2005; Martí Jaime, 2008; Arévalo y Zambrano, 2007; Asociación Colombiana de Porcicultores, 2002; Torres, 2016)

Como se observó en la tabla 9, al implementar la metodología PHVA, planteada por la ISO 14.001, se encuentra un primer componente, *planeación* en el que se manifiestan los impactos ambientales, aspectos legales y organizacionales, orientados al desarrollo de las metas y objetivos

planteados por la organización. Lo anterior, dando importancia al efecto del biodigestor sobre recursos como el agua, aire y suelo, planteando indicadores que permitan evidenciar estos impactos, como disponen las normativas ambientales presentadas en el mismo apartado, luego se plantea el programa de gestión que permite establecer las etapas a desarrollar para la correcta implementación y parametrización de los biodigestores.

Posteriormente en el componente *hacer*, se definen las funciones y responsabilidades, dando especificaciones necesarias para la estructura organizacional planteada, orientada al correcto desarrollo de cada uno de los pasos propuestos en la planeación, disponiendo en esta etapa los recursos necesarios, los cuales se enlazan a un proceso de capacitación y el desarrollo de los indicadores formulados previamente. Además, se dispondrán los canales de comunicación establecidos, tanto interna como externamente, seguido de los documentos en los que se dará seguimiento y trazabilidad al desarrollo de cada uno de los operadores y administrativos, considerando en todo momento los controles operacionales, los riesgos y mecanismos de respuesta en casos de emergencia.

Sobre el componente de *seguimiento y verificación*, se definen los mecanismos para monitorear el desarrollo de los indicadores, que permitan influir en la toma de decisiones, en la retroalimentación de los procesos ejecutados y plantear reajustes en la planeación, estructurando este componente en: seguimiento continuo, cumplimiento de las metas, gestión de riesgos, auditorías internas, identificación de incumplimiento y acciones correctivas.

Finalmente se plantea un componente de *acciones de mejoramiento*, las cuales constan de dos subcomponentes que son: 1) una revisión anual de la dirección a los informes que son alimentados por los responsables de las diferentes áreas de desarrollo del proyecto y 2) la identificación de áreas de mejora con un conjunto de acciones correctivas, resultantes de la monitoria interna. De esta manera se garantiza desde una perspectiva holística el desarrollo del funcionamiento del sistema de biodigestores en condiciones óptimas, una cadena de mando, un sistema de monitoreo, una planeación, entre otros aspectos, que tendrá como resultado la sostenibilidad de la empresa y de los actores involucrados.

6.5 Conclusiones

Se seleccionó el modelo de biodigestores debido a que es el que ofrece mayores ventajas en los ámbitos económicos, sociales y ambientales, algunos de estos beneficios son:

Económico:

- Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
- Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
- Es un sistema de gestión sostenible, pues asimila los residuos generados y los transforma para reúso.

Social:

- En el campo, se eliminan en un 80 % los olores indeseables provenientes de las heces de animales, con el importante valor agregado de la drástica reducción de las enfermedades causadas por roedores e insectos.
- Mejores condiciones de higiene para los que rodean el proceso productivo.
- Evita sanciones por el no cumplimiento de las normas.
- Persuade a las personas a una conciencia ambiental.
- Introducción en áreas rurales o subdesarrolladas donde contribuye a la necesidad energética.

Ambiental:

- Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.
- Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo con factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85 % de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión. En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35 °C los coliformes fecales fueron reducidos en 50 % – 70% y los hongos en 95 % en 24 horas.


- Captación del metano producido durante la degradación natural del estiércol.
- Menor producción de lodos que degradación aerobia.
- Promueve el uso de energías renovables.
- Disminuye la emisión de gases de efecto invernadero.
- Reduce la contaminación de aguas subterráneas.

De esta manera se concluye que la tecnología de biodigestores para la gestión de excretas en la producción porcina ofrece una gama de beneficios sociales, económicos y ambientales que aporta a que la producción y el desarrollo organizacional sean más sostenibles.

Referencias

- Angarita, R . (2012). Colombia: perspectiva actual de una crisis ambiental. *Revista Ingenio*, 5(1), 86-93.
- Arévalo, J. y Zambrano, L. (2007). *Implementación de un sistema autosostenible en la granja agropecuaria del municipio de Cogua para el tratamiento de los vertimientos líquidos porcícolas*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/582
- Arrieta, W. (2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf
- Asociación Colombiana de Porcicultores. ACP. (2002). *Guía ambiental para el subsector porcícola*. Dirección General Ambiental Sectorial. <https://doi.org/1037//0033-2909.I26.1.7>
- Fundacion Hábitat. (2005). Biodigestores: una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. https://www.academia.edu/8184562/Biodigestores_Una_alternativa_a_la_autosuficiencia_energ%C3%A9tica_y_de_biofertilizantes?auto=download
- Icontec. (2015). *NTC sistema de gestión ambiental*. <https://www.nueva-iso-14001.com/pdfs/FDIS-14001.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario. ICA. (2018). Censo pecuario nacional. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx>

- Julca, A., Meneses, L., Blas, R. y Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia*, 24(1), 49-61. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009
- Martí, J. (2008). Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TsbrdcmKGKoC&oi=fnd&pg=PA7&dq=implementacion+de+biodigestores&ots=Qleq2tuckY&sig=rdrhXIZ7vA-8wu-f_CyxEFhNAQ#v=onepage&q=implementacion+biodigestores&f=false
- Olaya, Y. y Gonzales, L. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2011). Manual de biogás, Proyecto CHI/00/G32. <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Rodríguez, M., Espinoza, G. y Wilk, D. (2002). Gestión ambiental en América Latina y el Caribe. Evolución, tendencias y principales prácticas. <http://www.iadb.org/sds/env>



Capítulo 7.

Biofertilización con *Azotobacter Sp*: una alternativa de mejoramiento de suelo y productividad en cultivo de ají jalapeño (*Capsicum Annuum L*)

Óscar Jiménez Calderín³⁶

Juan Salvador Peña³⁷

Javier Sánchez Castillo³⁸

Daniel Espinosa Corrales³⁹

Natalia García Corrales⁴⁰

Jorge Villadiego Lorduy⁴¹

36 Bacteriólogo, Universidad de Córdoba. Magíster en Biotecnología, Universidad de Córdoba, Montería. Correo: biotecnoscarjc23@hotmail.com

37 Ingeniero forestal, estudios de maestría en Ciencias Agronómicas, Universidad de Córdoba, Montería. Director de Sinú Verde. Correo: jsalvador@sinuverde.com

38 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. M. Sc. Ciencias de la Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Correo: javier.sanchezc@upb.edu.co

39 Director del programa de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. Correo: daniel.espinosac@upb.edu.co

40 Ingeniero Industrial, asesor científico en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

41 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph. D. Ciencias Naturales para el Desarrollo. Correo: jorge.villadiego@upb.edu.co

Resumen

Este estudio tuvo como finalidad demostrar los beneficios en el desarrollo de las plantas de ají jalapeño (*Capsicum Annuum* L) expuestas a la acción biofertilizante de una cepa nativa del género *Azotobacter* sp. Se registraron periódicamente los indicadores de desarrollo vegetal y a los resultados se les aplicó tratamiento estadístico ANOVA a tres factores y DMS con el fin de determinar las diferencias y similitudes entre tratamientos. Se obtuvieron resultados favorables para *Azotobacter* sp. en los tratamientos pues se obtuvieron valores estadísticamente superiores a los obtenidos con el tratamiento control, e incluso superó en algunos parámetros a los obtenidos con el tratamiento de urea. Lo cual confirma la acción benéfica de la inoculación con la cepa nativa de *Azotobacter* sp.

Palabras clave: biofertilizante; fijación de nitrógeno; mejoramiento de suelos; índices de desarrollo vegetal; productividad.

Abstract

The purpose of the study was to demonstrate the development benefits of Jalapeño pepper (*Capsicum Annuum* L) plants exposed to the biofertilizing action of a native strain of the genus *Azotobacter* sp. Plant development indicators were periodically recorded and the results were applied with statistical treatment ANOVA to three factors and DMS in order to determine the differences and similarities between treatments. Favorable results were obtained for *Azotobacter* sp. in the treatments obtaining values were statistically higher than those obtained with the control treatment and even exceeded in some parameters those obtained with the Urea treatment. This confirms the beneficial action of inoculation with the native strain of *Azotobacter* sp

Key words: biofertilizer; nitrogen fixation; soil improvement; plant development indices; productivity.

7.1 Introducción

Los altos rendimientos y una alta calidad (sin perder características organolépticas) son demandas a cumplir con los mercados internacionales, un paso importante para lograrlo consiste en brindar a nuestros cultivos la nutrición que cubra las necesidades durante su desarrollo, aplicando productos reguladores del crecimiento en las diferentes etapas fenológicas

del cultivo. El acceso al mercado de las hortalizas está condicionado por la obtención de productos limpios o ecológicos, que garanticen un impacto ecológico mínimo y que cumplan con las normas de calidad para exportación, debido a esto se hace necesario, evaluar la viabilidad del uso de microorganismos viables con capacidad para fijar metabólicamente determinadas sustancias.

Dentro de las propiedades que resultan de interés en tales microorganismos, cobra importancia la capacidad fijadora de macronutrientes tales como el nitrógeno (N), producción de auxinas y fitohormonas estimuladoras del crecimiento vegetal. El ají (*Capsicum* sp.) posee un alto valor nutritivo que cobra importancia en la región caribe colombiana, debido a un alto nivel de competitividad y la demanda internacional en el mercado estadounidense, árabe y asiático.

Habida cuenta de lo anterior, se desarrolló el estudio a fin de evaluar la respuesta de los parámetros biométricos de las plantas de ají jalapeño (*Capsicum Annuum* L.) frente a la inoculación de una cepa nativa de *Azotobacter* sp. con propiedades fijadoras de nitrógeno, con el fin de evaluar su potencial como agente biofertilizante.

7.2 Marco teórico

Los macronutrientes esenciales para la constitución y adecuada nutrición vegetal son el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno los cuales constituyen más de un 90 % de la materia vegetal a la que se le añaden algunos elementos que se utilizan como abono: (potasio, calcio, magnesio, fósforo). El nitrógeno, aunque representa un 78 % del aire atmosférico, no está disponible en forma directa para las plantas, las cuales deben asociarse en algún nivel con bacterias y algas que lo hacen asimilable bajo la forma de ion nitrato (NO_3^-). De ahí se deriva la importancia de la utilización de nitrógeno en la nutrición vegetal y su adición como abono por los parte de los productores (Meléndez y Molina, 2001).

El nitrógeno se encuentra en grandes cantidades en la atmósfera terrestre, pero para lograr su biodisponibilidad para los vegetales se debe romper el enlace N-N del nitrógeno molecular, lo cual requiere cuando menos

940kJ y muy pocos organismos lo utilizan para lograr la fijación biológica de nitrógeno. De acuerdo con lo expresado por Alfonso *et al*, (2007) la fijación biológica de nitrógeno mejora las condiciones de los suelos mediante diversas acciones:

- Mejora la estructura del suelo.
- Reduce la erosión del suelo.
- Tiene efecto regulador en la temperatura del suelo.
- Contribuye al almacenamiento de humedad.
- Es un alimento necesario para los organismos benéficos del suelo.

7.3 Biofertilizantes

Los biofertilizantes son productos a base de microorganismos viables que suministran o facilitan la asimilación de nutrientes y desempeñan alguna acción que beneficia el desarrollo de los vegetales. Los nutrientes esenciales disponibles en los fertilizantes de origen biológico presentan características fisicoquímicas y biológicas muy cercanas a las que naturalmente debería poseer el suelo, lo cual implica una notable disminución del impacto agroecológico sin sacrificar los incrementos en la productividad (Carvajal y Mera, 2010). Los biofertilizantes han logrado un progresivo posicionamiento en el mercado, han sustituido gradualmente los fertilizantes sintéticos, ya que brindan rendimientos similares o superiores en la mayoría de las cosechas, favorecen la productividad, mejoran la resistencia a fitopatógenos y ofrecen facilidades para su aplicación.

Este fenómeno representa beneficios económicos para los agricultores debido a la reducción en la inversión asociada al proceso de fertilización y ganancia en los rendimientos (Rivera *et al*, 2012). Además de mejorar la perspectiva económica, tiene un impacto positivo en lo socioambiental. Sin embargo, el uso de estas técnicas demanda previos estudios de factibilidad, seguimiento de las variables ambientales, disponibilidad de insumos biológicos y personal capacitado.

7.4 Género *Azotobacter* sp

Su capacidad para fijar nitrógeno y su rápida reproducción representa ventajas al momento de regular el crecimiento vegetal, medir la producción de fitohormonas y funcionar mejor aprovechando la materia orgánica presente en el suelo, la han convertido en el género de bacterias aerobias con mayor número de aplicaciones a procesos de agroindustria. La fijación de N_2 por esta especie está delimitada por la estructura de las sustancias orgánicas disponibles en el entorno y de la energía química de la misma, siendo relevantes los procesos de oxidación de la materia orgánica durante la respiración. Mantilla *et al* (2010) demostró un incremento de su metabolismo (incluyendo la capacidad fijadora de N_2) en suelos ricos en fenoles, lo que sugiere que estas bacterias contribuyen en la transformación de este tipo de residuos usados como fertilizantes.

7.5 Metodología

Se llevó a cabo un estudio experimental para obtener datos medios a fin de comparar la respuesta de los parámetros biométricos de plantas de ají jalapeño frente a tratamientos de *Azotobacter* sp. en concentraciones de 1×10^6 , 1×10^7 y 1×10^8 UFC, tratamiento comercial (urea) y un tratamiento control.

El enfoque del presente ensayo se basó en un diseño aleatorio al azar, con cinco tratamientos, tres repeticiones, cada una compuesta por veinticuatro unidades experimentales. Para un total de 360 pocetas con tres semillas por poceta (para un total de 1.080 semillas comerciales de ají jalapeño (*Capsicum Annuum* L) durante todo el ensayo), previamente embebidas en solución microbiana. Todos los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) de tres factores y para determinar la diferencia entre medias de los tratamientos se utilizó la prueba DMS al 95 % (paquete estadístico de Microsoft Excel 2010). Se realizó un análisis de varianza de tres factores para realizar las comparaciones de medias entre los tratamientos. Así, fue determinada la existencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, medias de parámetros dentro de un mismo tratamiento y diferencia de medias de un mismo tratamiento a través del tiempo, adicionalmente, se realizó una

comparación de medias mediante la prueba DMS con 5 % de probabilidad para determinar el tratamiento que produjo mejores rendimientos.

7.5.1 Procedimientos

En el laboratorio de biotecnología de la Universidad de Córdoba (sede central, Montería) fue aislado, purificado y multiplicado el microorganismo en medio de cultivo *Burk* (selectivo), la biomasa obtenida luego de 48 horas de incubación se llevó a diluciones seriadas las cuales se sometieron a agitación (150 rpm) durante 48 horas. Fueron extraídos 5 ml de cada tubo de ensayo y diluidos en solución salina al 0,85 p/v. hasta llegar a 100 ml con la finalidad de obtener las concentraciones deseadas (tabla 10).

Tabla 10. Distribución de diluciones seriadas

FRASCO	DILUCIONES						
AZ1	1X10 ²	1X10 ³	1X10 ⁴	1X10 ⁵	1X10 ⁶	N.A	N.A
AZ2	1X10 ²	1X10 ³	1X10 ⁴	1X10 ⁵	1X10 ⁶	1X10 ⁷	N.A
AZ3	1X10 ²	1X10 ³	1X10 ⁴	1X10 ⁵	1X10 ⁶	1X10 ⁷	1X10 ⁸

Fuente: elaboración propia.

Se utilizaron las dos últimas diluciones de cada serie (AZ3 hasta 10⁸) y de cada una de ellas se tomaron 100 µL de la suspensión para realizar una siembra por triplicado en medio *Burk* sólido, para las suspensiones de las semillas de ají jalapeño (*Capsicum Annum* L) se utilizaron 5 ml de cada dilución.

7.6 Resultados y discusión

7.6.1 Área de estudio

El estudio fue desarrollado en las instalaciones del laboratorio de biotecnología de la Universidad de Córdoba sede central, en Montería

(Córdoba), a 8° 44' de latitud N y 75° 53' de longitud O, con respecto al meridiano de Greenwich (figura 45).

Figura 45. Localización laboratorio de biotecnología UNICOR



Fuente: Google Earth, 2019.

Se utilizaron semillas comerciales de *Capsicum Annum L.* variedad jalapeño, avaladas por la resolución ICA n.º 000647 del 24 de abril de 2001, con especificaciones de pureza de 99 % y germinación aproximada de 85 %. Se distribuyeron de manera uniforme en frascos con 5 ml de la solución microbiana (1×10^6 , 1×10^7 y 1×10^8) y fueron sometidas a agitación durante 120 minutos. Para establecer las condiciones semicontroladas de vivero, las semillas fueron dispuestas en semilleros con suelo de características que se especifican en la tabla 11.

Tabla 11. Composición fisicoquímica del suelo

Parámetro	Rango	Reacción química del suelo
pH	7.37	Neutro
Relación C/N	11.38	Medio- bajo
Conductividad	1/5 H ₂ O mS/cm=0,36	No salino
Arena	38 %	
Limo	40 %	
Arcilla	22 %	Franco
Carbonatos totales	(Ca CO ₃) 22,25	
Materia orgánica	2,65	

Parámetro	Rango	Reacción química del suelo
Nitrógeno total	0,14	
Fósforo asimilable	0,12	
Potasio de cambio	0,92	
Magnesio de cambio	2,48	
Calcio de cambio	21,58	
Sodio de cambio	0,32	

Fuente: elaboración propia.

Basados en los valores relacionados en la tabla 11 y las recomendaciones de la FAO (2002) para suelos con menos de 15 ppm de N_2 , se utilizaron 9,08 gr de urea por maceta, aplicando urea granulada a 10 cm de la base de la planta, y distribuidos de manera circular alrededor de la misma a una profundidad de 5 cm. El experimento tuvo una duración de doce semanas, se tomaron mediciones a partir de la séptima hasta la décima semana. En el tratamiento E (urea), el fertilizante fue aplicado en la quinta semana después de la emergencia de la semilla, y después del trasplante para evitar al máximo el estrés en el cultivo.

7.6.2 Determinación de los parámetros biométricos

- Área foliar

Para determinar el área foliar las hojas fueron escaneadas y las imágenes obtenidas fueron convertidas a densidad monocromática para una determinación más acertada a los requerimientos del *software*. Se implementó el *software* determinador digital de áreas (DDA) y la diferencia fue eliminada multiplicando por el error 0,2289, correspondiente a la referencia del Scanner. Resulta evidente una mayor eficacia en el tratamiento B en relación con todos los demás tratamientos (tabla 12).

Tabla 12. Valores medios de área foliar

Tratamientos	Repeticiones	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
A (Control)	A1	85,2	99,6	106,5	97,8
	A2	218,6	232,1	232	244
	A3	235,8	245,1	252,5	243,8
B (1x10 ⁶)	B1	362,7	435,3	496,1	525,2
	B2	277,3	303,4	281,5	286,3
	B3	245,4	258,4	260,1	268,3
C (1x10 ⁷)	C1	125,1	133,5	142,7	129,9
	C2	230,2	255,5	262,1	266,6
	C3	231,9	232,6	245,3	249,9
D (1x10 ⁸)	D1	170,2	189,5	201,2	203,3
	D2	175,2	198,4	225	222
	D3	114,8	116,7	121,4	118,9
E (Urea)	E1	201,8	200,2	215,3	225,4
	E2	180,2	213,5	224,7	225,4
	E3	165	177,3	204,2	197,6

Fuente: elaboración propia.

Comparando las medidas obtenidas en el tratamiento control y tratamiento comercial con el tratamiento B, este último muestra resultados que superan los obtenidos en el control por casi el doble, de igual forma presentó rendimientos superiores con respecto al testigo comercial (urea). Según Borda-Molina *et al.* (2011) el área foliar se relaciona directamente con el estado fenológico de la planta y las variaciones en la intensidad de la luz que influyen directamente en el proceso fotosintético

Pese a lo indicado, durante el presente trabajo el análisis de varianza arrojó una probabilidad cercana al 0 % de homogeneidad entre los tratamientos ($P = 0,05$), lo cual indica que las diferentes concentraciones del microorganismo tuvieron una influencia en el desarrollo de este parámetro (tabla 13).

Tabla 13. Resultados análisis de varianza para área foliar

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	(°) de libertad	PC	F	Probabilidad	VC para F
Muestra	1,429173333	4	0,357293333	7,74563717	0,000101453	2,605974949
Columnas	0,242631667	3	0,080877222	1,75330901	0,171635888	2,838745398
Interacción	0,055026667	12	0,004585556	0,09940865	0,999935056	2,003459396
Dentro del grupo	1,845133333	40	0,046128333			
Total	3,571965	59				

*PC: promedio de cuadrados; VC: valor crítico; (°): grados.

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el valor crítico de F excede al P -valor, se rechaza la hipótesis nula que establece la igualdad entre los tratamientos, demostrando que existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos para los tratamientos y el área foliar.

- Altura del tallo

Las medidas de la raíz y el tallo fueron tomadas con la ayuda de una regla, para las raíces se tomó la raíz más larga y se midió en centímetros desde la base del tallo al ápice radical. Para el caso del tallo se midió desde la corona de la raíz hasta el ápice de la última hoja del tallo principal de la planta (Hernández 2002; Ramírez y Pérez, 2006). Durante su medición se presentó similitud en los resultados obtenidos para los tratamientos B, C y E, con una ligera superioridad del tratamiento B. Mientras que el tratamiento E (testigo comercial urea) mostró un comportamiento parecido al tratamiento C (1×10^7) (tabla 14).

Tabla 14. Resultados altura del tallo

Tratamientos	Repeticiones	Semana 7 (cm)	Semana 8 (cm)	Semana 9 (cm)	Semana 10 (cm)
A (Control)	A1	10,8	11,2	11,5	11,8
	A2	12,6	13	13,1	13,4
	A3	13,1	13,3	13,5	13,7
B (1x10 ⁶)	B1	16,7	17	17,1	17,3
	B2	18,1	18,5	18,7	19,1
	B3	18,5	19,1	19,4	19,5
C (1x10 ⁷)	C1	17,3	17,6	17,9	18,2
	C2	12,6	13,1	13,4	13,9
	C3	16,6	16,9	17,3	17,5
D (1x10 ⁸)	D1	10,9	11,3	11,5	11,8
	D2	8,8	9,1	9,2	9,5
	D3	12,4	12,8	13	13,1
E (Urea)	E1	14,2	14,8	15,3	15,6
	E2	14,7	15,2	15,5	15,9
	E3	15,6	16,1	16,4	16,6

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza demostró similitud entre las alturas reportadas para cada repetición por tratamiento, esto demuestra una correcta aplicación de la metodología y uniformidad de las muestras resultantes, lo cual se encuentra íntimamente ligado a la obtención de resultados confiables. Las plántulas presentaron un crecimiento homogéneo y lineal a lo largo del tiempo entre semanas, así como también se homogeneidad entre las repeticiones de cada tratamiento. De acuerdo con el análisis de varianza existen diferencias estadísticas entre los tratamientos respecto a la altura del tallo, donde el tratamiento B (1x10⁶) presentó los mayores valores, con resultados de longitud de tallo que en algunas repeticiones superaban por más de 8 cm a los reportados por el tratamiento control (tabla 15).

Tabla 15. Análisis de varianza para altura de tallo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	(°) de libertad	PC	F	Probabilidad	VC para F
Muestra	387,662333	4	96,9155833	39,8802208	1,8691E-13	2,60597495
Columnas	7,08133333	3	2,36044444	0,9713097	0,41577725	2,8387454
Interacción	0,267	12	0,02225	0,00915575	1	2,0034594
Dentro del grupo	97,2066667	40	2,43016667			
Total	492,217333	59				

*PC: promedio de cuadrados; VC: valor crítico; (°): grados.

Fuente: elaboración propia.

Lara *et al.* (2006) evaluaron la actividad del AIA de aislados microbianos nativos de la zona del Sinú, entre los que se evaluó *Azotobacter* como productor de esta sustancia fitoregulatora y estimulante del crecimiento en las plantas, por tanto la evolución de este parámetro estuvo relacionada directamente con la aplicación de los distintos tratamientos basados en *Azotobacter*.

- Diámetro del tallo

Para la medición de este parámetro se hizo necesario utilizar un nonio y los resultados de las mediciones fueron expresados en mm² (Castillo *et al.* 2009). Se evidencia una ganancia de diámetro del tallo en el tratamiento B (1x10⁶), respecto al tratamiento control y a su vez a los tratamientos C (1x10⁷) y D (1x10⁸), los cuales mostraron cierta similitud con los resultados del control. Los tratamientos B y E presentaron un comportamiento similar (tabla 16), indican la preferencia del microorganismo a esa concentración y a los principios activos del testigo comercial, esto influyó en la fijación biológica del nitrógeno, sin embargo, no se demostró propiedades solubilizadoras de fósforo, el cual es responsable, junto al calcio, del desarrollo de este parámetro.

Tabla 16. Diámetro del tallo

Tratamientos	Repeticiones	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
A (control)	A1	0,183	0,188	0,192	0,196
	A2	0,227	0,231	0,232	0,246
	A3	0,211	0,214	0,217	0,221
B (1x10 ⁶)	B1	0,391	0,398	0,401	0,412
	B2	0,374	0,377	0,384	0,396
	B3	0,361	0,365	0,368	0,374
C (1x10 ⁷)	C1	0,271	0,272	0,275	0,282
	C2	0,283	0,287	0,288	0,294
	C3	0,225	0,228	0,231	0,232
D (1x10 ⁸)	D1	0,201	0,205	0,207	0,212
	D2	0,242	0,246	0,251	0,254
	D3	0,226	0,238	0,242	0,245
E (urea)	E1	0,301	0,307	0,311	0,322
	E2	0,332	0,341	0,349	0,355
	E3	0,299	0,308	0,313	0,316

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza demostró un comportamiento totalmente diferente en relación con los tratamientos y este parámetro con una probabilidad de (1.869×10^{-13}) que los resultados sean iguales entre tratamientos

- Longitud de la raíz

Este parámetro se relaciona de manera directa a la capacidad de absorción y asimilación de nutrientes y su tamaño, es un factor determinante para evaluar la actividad de la microbiota rizosférica. Durante los ensayos se observó una clara superioridad en el desarrollo radicular del tratamiento B, la segunda repetición perteneciente a este tratamiento, muestra longitudes de 21,2 cm, superando significativamente al tratamiento control y presentando resultados estadísticamente similares a los

obtenidos en el testigo comercial. El tratamiento control mostro un comportamiento similar al tratamiento D (1×10^8) pero claramente inferior al obtenido con el tratamiento C (1×10^7) (tabla 17).

Tabla 17. Longitud de la raíz

Tratamientos	Repeticiones	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
A (control)	A1	12,2	12,7	13,2	13,5
	A2	11,8	12,1	12,5	12,7
	A3	12,1	12,3	12,7	12,9
B (1×10^6)	B1	17,2	17,8	18,1	18,3
	B2	20,1	20,7	20,9	21,2
	B3	16,8	17,1	17,4	17,6
C (1×10^7)	C1	15,3	15,7	16,1	16,4
	C2	16,2	16,7	17,2	17,3
	C3	15	15,1	15,5	15,7
D (1×10^8)	D1	13,1	13,7	14	14,1
	D2	12,5	13,2	13,5	13,6
	D3	12,2	12,6	13	13,3
E (urea)	E1	16,6	17,1	17,5	17,9
	E2	17,1	17,6	18,1	18,4
	E3	18,6	18,8	19,2	19,4

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza demostró diferencias significativas entre tratamientos, la probabilidad de la hipótesis nula es de ($4,2073 \times 10^{-21}$), por lo cual no se rechaza la hipótesis que plantea la diferencia entre los tratamientos. En el tratamiento B la diferencia estadística fue marcada en relación con los demás tratamientos (tabla 18).

Tabla 18. Análisis de varianza longitud radicular

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	(°) de libertad	PC	F	Probabilidad	VC para F
Muestra	0,2340805	4	0,05852013	111,096583	4,2073E-21	2,60597495
Columnas	0,00187327	3	0,00062442	1,18542425	0,32746119	2,8387454
Interacción	0,00015123	12	1,2603E-05	0,02392554	0,99999998	2,0034594
Dentro del grupo	0,02107	40	0,00052675			
Total	0,257175	59				

Fuente: elaboración propia.

La longitud radicular se relaciona directamente con la capacidad de la planta para asimilar y metabolizar los nutrientes disponibles en el medio, factor que resulta favorable para su desarrollo. El tratamiento B mantuvo una superioridad en el desarrollo radicular en todos los puntos de medición de este parámetro, Colon *et al.* (2000) expresa que la producción de fitohormonas (auxinas y giberelinas) por parte de *Azotobacter chroococcum*, influye positivamente en el desarrollo radicular, así como también en el peso seco de las plantas tratadas, estos datos siguen la secuencia obtenida durante el presente ensayo donde el tratamiento B expresó los mejores resultados.

- Peso seco

La determinación del peso seco de la planta se realizó seccionando sus partes (hojas, tallos, raíz y fruto) y sometiéndolas a una temperatura de 60 °C (calor seco) durante 48 horas. El material resultante fue pesado en una balanza electrónica y el resultado fue reportado en gramos de materia seca (Hernández 2002; Ramírez y Pérez, 2006).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas de peso seco en el tiempo, se muestra un aumento lineal y progresivo para todos los tratamientos (tabla 19). Los resultados obtenidos se encuentran condicionados por factores climáticos, ambientales y dentro de estos, el de mayor relevancia, es el estado del suelo y la disponibilidad de nutrientes, cobra así importancia la disponibilidad de formas asimilables

de nitrógeno debido a su relación directamente proporcional con los rendimientos por planta.

Tabla 19. Peso seco

Tratamientos	Repeticiones	S 7	S 8	S 9	S 10
A (control)	A1	1,77	2,02	2,31	2,28
	A2	2,52	2,85	3,06	3,32
	A3	2,44	2,77	3,02	3,16
B (1x10 ⁶)	B1	4,77	5,03	5,86	6,14
	B2	5,12	5,41	6,06	6,27
	B3	4,51	4,98	5,33	5,65
C (1x10 ⁷)	C1	3,06	3,42	3,45	3,58
	C2	2,55	2,74	3,01	3,17
	C3	2,32	2,54	2,93	2,91
D (1x10 ⁸)	D1	2,01	2,07	2,45	2,62
	D2	2,02	2,34	2,63	2,86
	D3	1,92	2,23	2,16	2,41
E (urea)	E1	2,74	3,14	3,56	3,92
	E2	3,62	4,07	4,52	4,51
	E3	4,41	5,04	5,62	5,89

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos se asemejan a los de González *et al.* (1994) quienes inocularon ocho cepas de *Azotobacter* y midieron los parámetros de crecimiento en vitroplantas de piña, demostraron que todas las cepas usadas indujeron el crecimiento, con valores que superaban los del testigo, datos similares a los obtenidos a lo largo del estudio donde podemos establecer la inoculación de *Azotobacter* con la finalidad acortar el periodo de adaptación de las plantas. Martínez *et al.* (1997) plantean que:

El efecto de la inoculación con *Azotobacter chroococcum* sobre la germinación y crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en suelos ferralíticos rojos resulta coincidente para todas

las variedades analizadas. La población de plántulas por m² aumentó entre 36 % y 78 %, así como la altura se incrementó entre 34 % y 96% y el diámetro del tallo entre 37 % y 100%. El número de hojas aumentó entre 22 % y 42 % y el peso seco de 50 plántulas entre 38 % y 27,6 %.

De acuerdo con lo anterior cabe la posibilidad de reducir el tiempo desde la siembra en semillero hasta el trasplante, además del notable efecto y estimulación relacionada con la inoculación de *Azotobacter*, como se pudo evidenciar también durante este ensayo. Se hace necesario tener en cuenta los resultados obtenidos en la aplicación de *Azotobacter* sp en la concentración de 1×10^6 ml como promotor de crecimiento en especies vegetales, lo cual sirve de punto de referencia comparativo con otros estudios en diversas especies vegetales con la finalidad de establecer nuevas alternativas que ayuden a mejorar los sistemas productivos y la renovación del entorno.

Conclusiones

Del presente estudio se concluye que la cepa nativa de *Azotobacter* sp. aplicada al cultivo de ají (*Capsicum Annuum L.*), variedad jalapeño, promueve positivamente el desarrollo de todos los parámetros biométricos evaluados en plantas de ají jalapeño.



La aplicación de una concentración preestablecida de microorganismos del género *Azotobacter* resulta beneficiosa en cuanto al desarrollo de área foliar, brinda ventajas competitivas en cuanto al aprovechamiento de factores como la luz solar y un mejor metabolismo fotosintético, aparte de contribuir a la fijación biológica del nitrógeno, tiene la propiedad de mejorar la altura de las plantas.

en lo que respecta al vivero es posible obtener rendimientos similares e incluso superiores a los obtenidos mediante el uso de fertilizantes nitrogenados aplicados a los cultivos de ají jalapeño, mediante la inoculación de la semilla con concentraciones adecuadas de la cepa nativa del género *Azotobacter* sp.


Referencias

- Alfonso, E., Leyva, Á. y Hernández, A. (2005). *Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum, Mill)*. *Revista Colombiana de Biotecnología* 2(2), 47-54.
- Carvajal, J. y Mera, A. (2010). *Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible*. Universidad del Magdalena.
- Castillo, C., Ortiz, C., Borie, F. y Rubio, R. (2009). Respuesta de ají (*Capsicum annuum* L.) cv. “cacho de cabra” a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares. *Inf. tecnol.*, 20(4), 3-14
- Colón, J., Lucas, J., Ramos, B., Gutiérrez, F. y Probanza, A. (2000). *Increase in free nitrogen fixation in the rhizosphere of Pinus pinea seedlings inoculated with PGPRs in a burned forest soil*. Junta de Andalucía y Consejo de Agricultura y Pesca.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. FAO.
- Hernández, J., Aramendiz, H. y Cardona, C. (2005). Influencia del ácido indolbutírico y ácido naftalenoacético sobre el enraizamiento de esquejes de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl). *Temas Agrarios* 10(1), 5-13.
- Lara, C. y García, L. (2010). *Elaboración de un bioinoculante a partir de residuos vegetales del mercado y una bacteria nativa con potencial biofertilizante*. Tesis de grado. Maestría en Biotecnología. Departamento de Química. Universidad de Córdoba.
- Lara, C., Oviedo- Zumaque, L. y Alemán, A. (2006). *Evaluación química de la auxina: ácido indol-acético a partir de aislados microbianos nativos con potencial biofertilizante para una alternativa de agricultura limpia en el valle del Sinú medio*. (Departamento de Córdoba). En VII Simposio Latinoamericano de Química Analítica y Ambiental. Ponencia Oral. Memorias
- Martínez, R., Dibut, B., Casanova, I. y Ortega, M. (1997). Acción estimuladora de *Azotobacter chroococcum* sobre el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en suelo ferralítico rojo. Efecto sobre el semillero. *Agrotecnia de Cuba*, 27(1), 23-26
- Meléndez, G. y Molina, E. (2001). *Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.

- Ramírez, F. (2000). *Manejo nutricional y fertilización balanceada en el cultivo de paprika. Manejo del cultivo de paprika*. Arequipa.
- Rivera, R. Ruíz, L., Riera, M., Simó, J., Fundora, L., Calderón, A., Martín-Cárdenas, J., Marrero, Y. y Joao, J. (2012). La efectividad del biofertilizante Ecomic® en el cultivo de la yuca. Resultados de las campaanas de extensiones con productores. *Cultivos Tropicales*, 33(1), 5-10.

 Universidad Pontificia Bolivariana	SU OPINIÓN	
<p>Para la Editorial UPB es muy importante ofrecerle un excelente producto. La información que nos suministre acerca de la calidad de nuestras publicaciones será muy valiosa en el proceso de mejoramiento que realizamos. Para darnos su opinión, comuníquese a través de la línea (57)(4) 354 4565 o vía correo electrónico a editorial@upb.edu.co Por favor adjunte datos como el título y la fecha de publicación, su nombre, correo electrónico y número telefónico.</p>		

Este libro se publicó en archivo digital
en el mes de diciembre de 2020.



Desde los años 50 se ha visto el crecimiento de un modelo económico de consumo insustentable, que ha llevado un progreso dramático y sin precedentes, pero este crecimiento acelerado ha tenido consecuencias para la sociedad, factores que hoy se develan como grietas profundas en el sistema y que amenazan su existencia. La desigualdad y la inequidad se han acentuado, el uso exacerbado de los recursos y especialmente de la tierra, ha llevado a varias especies de flora y fauna al borde de la extinción y en algunos casos a la extinción misma. Pero el factor que representa el mayor peligro inminente es la degradación ambiental acelerada que ha tenido lugar a lo largo y ancho del globo, generada por acciones antrópicas como la deforestación, la contaminación de las fuentes hídricas, la contaminación del aire, la emisión de gases de efecto invernadero, la arbitraria disposición de residuos de toda naturaleza, el uso excesivo de plásticos de muy baja o nula biodegradabilidad y, demás, que han contribuido a la construcción de un modelo económico de consumo insostenible, degradando el ambiente a un ritmo tal que supera la capacidad de recuperación, trayendo como consecuencia una mayor necesidad de expansión de los territorios aprovechables, en un frenesí productivo insostenible.

