

ECAPMA
Working Papers



Vol. 8 Núm.1 año 2024





Volumen 8, Número 1, 2024

Working Papers ECAPMA

Volumen 8, número 1, 2024

CUERPO DIRECTIVO

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR
Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA
Vicerrector Académica y de Investigación

EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ
Vicerrector de Servicios a Aspirantes,
Estudiantes y Egresados

LEONARDO YUNDA PERLAZA
Vicerrector de Medios y Mediaciones
Pedagógicas

JULIA ALBA ANGEL OSORIO
Vicerrector de Desarrollo Regional
y Proyección Comunitaria

**LEONARDO EVEMELETH
SANCHEZ TORRES**
Vicerrector de Relaciones Internacionales

JORDANO SALAMANCA BASTIDAS
Decano Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente

JUAN SEBASTIÁN CHIRIVÍ SALOMÓN
Líder Nacional de Investigación

CAROLINA GUTIÉRREZ CORTÉS
Líder Nacional de Investigación Escuela
de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente

EDITORES

GERARDO OJEDA
Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente

MARGARITA BONILLA
Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente

COMITÉ DE INVESTIGACIÓN ECAPMA

CADENA AGRICOLA CADENA AMBIENTAL
CADENA PECUARIA CADENA AGROFORESTAL

Working Papers ECAPMA

Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente

Universidad Nacional Abierta
y a Distancia

Calle 14 Sur N. 14-23
Bogotá, Colombia

Teléfonos: (571) 344 3700 ext. 1529
e-mail: documentos.ecapma@unad.edu.co

Los artículos pueden consultarse
en su versión electrónica en:

[https://seloeditorial.unad.edu.co/
produccion/literatura-gris/
working-papers-ecapma](https://seloeditorial.unad.edu.co/produccion/literatura-gris/working-papers-ecapma)



DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducido en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines

Este documento contiene la política de Privacidad y Condiciones de Uso del Portal Institucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, institución de educación superior colombiana creada por el Congreso de la República mediante Ley 52 de 1981, con el fin de proteger los derechos de los usuarios del portal web institucional, haciendo parte de los documentos Manual de imagen digital de la Unad y Guía para la publicación de información en el portal institucional y en la intranet, documentos soporte de nuestro sistema de Gestión de Calidad.

La política de privada de la UNAD, detalla la forma como salvaguardamos y utilizamos la información que obtenemos a través de los servicios, trámites e información disponible en nuestro portal web institucional. En este sentido, es importante que antes de iniciar la exploración del portal, el usuario lea previa y cuidadosamente esta política de privacidad y condiciones de uso sobre qué información guardamos y cómo la utilizamos.

La información del portal institucional, contenidos y servicios divulgados son de conocimiento público, por tanto, la aceptación de esta política de privacidad, es condición necesaria para que el usuario navegue nuestro portal.

Para más información, por favor consulte aquí:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/index>

ÍNDICE

Presentación	5
Área Agrícola	
1. EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE <i>Phytophthora</i> spp. EN CLONES DE CACAO, CON APLICACIONES DE <i>Trichoderma</i> spp. EN EL MUNICIPIO DE ALGECIRAS, HUILA	7
Área Pecuaria	
2. HALLAZGOS ECOGRÁFICOS EN LA ENFERMEDAD DEL TRACTO URINARIO INFERIOR FELINA (F.L.U.T.D)	21
Área Agroforestal	
3. AVANCES Y PERSPECTIVAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE ÁRBOLES ÉLITES DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i> L.) PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN EL MUNICIPIO DE IBAGUÉ, TOLIMA	37
Área Agrícola	
4. DESARROLLO DE UN CULTIVO DE CILANTRO (<i>Coriandrum sativum</i>) EN UN SISTEMA AEROPÓNICO AUTOMATIZADO	55
Área Agrícola	
5. VALORACIÓN DEL EFECTO DE HERBICIDAS SOBRE LAS COMUNIDADES MICROBIANAS DEL SUELO	69
Área Pecuaria	
6. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS BOVINOS DE CRUCES CON CRIOLLO CAQUETEÑO, EN UN SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO, EN LA FINCA VILA MERY EN EL MUNICIPIO DE MORELIA, CAQUETÁ	81
Área Agrícola	
7. DISEÑO DE UN INVERNADERO TECNIFICADO MEDIADO POR POLINIZADORES PARA LA UNAD - CCAV FACATATIVÁ	101
Área Ambiental	
8. DINÁMICA HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO TIMANÁ, COLOMBIA	115

PRESENTACIÓN

Estimados lectores

Presentamos los artículos del presente número, fruto del trabajo de los docentes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Se trata de artículos relacionados con las diferentes cadenas de la Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA: Agrícola, Agroforestal, Ambiental y Pecuaria.

Todos estos artículos representan el trabajo científico y académico Unadista, con la firme convicción de seguir adelante con la labor investigativa de acceso abierto y gratuito.

Saludos cordiales

Gerardo Ojeda

Margarita Bonilla



Fecha de recibido: 19-08-2023

Fecha de aceptado: 13-10-2023

DOI: 10.22490/ECAPMA.7090

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE *Phytophthora* spp. EN CLONES DE CACAO, CON APLICACIONES DE *Trichoderma* spp. EN EL MUNICIPIO DE ALGECIRAS, HUILA

EVALUATION OF THE INCIDENCE OF *Phytophthora* spp. IN COCOA CLONES, WITH APPLICATIONS OF *Trichoderma* spp. IN THE MUNICIPALITY OF ALGECIRAS, HUILA

Claudia Parra Cortés

Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional de Colombia

MSc Horticultura Tropical, Tecnológico Nacional de México

Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5213-6880> - claudia.parraco@unad.edu.co

Alexandra Cerón Endo

Ingeniera Agroforestal, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

MSc Agronegocios, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3221-9029> - alexandra.ceron@unadvirtual.edu.co

Guillermo Caicedo Díaz

Ingeniero Agrónomo, Universidad de Nariño

MSc Desarrollo sostenible y del Medio ambiente, Universidad de Manizales, Docente

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2767-9434> - guillermo.caicedo@unadvirtual.edu.co

Jhon Jairo Cuellar Veru

Agrónomo, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

ORCID <https://orcid.org/0009-0009-4354-4300> - jjcuellarv@unadvirtual.edu.co

Citación: Parra, C., Cerón, A., Caicedo, G. y Cuellar, J. (2024). Evaluación de la incidencia de *Phytophthora* spp. en clones de cacao, con aplicaciones de *Trichoderma* sp. en el municipio de Algeciras, Huila. *Working Papers ECAPMA*, 8(1), 7–19.

<https://doi.org/10.22490/ECAPMA.7090>

RESUMEN

Contextualización: el cacao en Colombia es un cultivo de relevancia no solo por su factor económico, sino por su entorno social y ambiental. Según la Gobernación del Huila (2022) se estima que el cacao en el huila es el sustento de alrededor de 3300 familias, con 7000 hectáreas sembradas aproximadamente. Respecto al manejo fitosanitario de este cultivo se destaca la enfermedad causada por *Phytophthora* spp. como una de las enfermedades más limitantes para la producción (Rodríguez y Vera, 2015).

Vacío de conocimiento: en Colombia son escasas las investigaciones realizadas para conocer la relación de los clones y el desarrollo de la enfermedad *Phytophthora* spp., por lo que este tipo de estudios son requeridos con urgencia en la zona de influencia del proyecto; en ese sentido, se han realizado avances investigativos en clones por parte de AGROSAVIA, pero en otras regiones del país.

Propósito: el objetivo del presente estudio fue evaluar la incidencia de *Phytophthora* spp. en clones de cacao, con aplicaciones de *Trichoderma* sp. en condiciones ambientales del departamento del Huila, para contribuir con la línea de investigación en biotecnología agrícola.

Metodología: se emplearon parámetros de evaluación para incidencia y severidad de *Phytophthora* spp. en 10 clones de cacao: EET 8, TSH 565, SCC 61, ICS 1, ICS 95, HIBRIDO, IMC 67, ICS 39, ICS 60 y CCN 51. Enfermedad tratada con: T1: (*Trichoderma asperellum*, *Trichoderma atroviridae*, *Trichoderma harzianum*). Presentación polvo mojable PW. T2: (*Trichoderma viride*), presentación líquida suspensión concentrada SC. T3: Testigo, sin ninguna aplicación, en dos épocas de producción fase I (13, 20 y 27 de diciembre) y fase II (14, 21 y 28 de mayo).

Resultados y conclusiones: Se concluye que los efectos sobre *Phytophthora* spp. responden a la combinación de la susceptibilidad del material vegetal empleado y la acción del *Trichoderma* spp. en el cultivo de cacao. En la fase II hay una diferencia significativa entre el testigo y el tratamiento en polvo, frente al tratamiento líquido siendo este último el que ejerce mejor control sobre la enfermedad.

Palabras clave: incidencia, severidad, pudrición negra de la mazorca, resistencia genética, *Theobroma cacao*

ABSTRACT

Contextualization: Cocoa in Colombia is a crop of relevance not only for its economic factor, but also for its social and environmental setting; according to the Governor's Office of Huila (2022) it is estimated that cocoa in Huila is the livelihood of about 3,300 families, with approximately 7,000 hectares planted. Regarding the phytosanitary management of this crop, the disease caused by *Phytophthora* spp. stands out as one of the most limiting diseases for production (Rodríguez y Vera, 2015).

Knowledge gap: In Colombia there is little research on the relationship between clones and the development of the *Phytophthora* spp. disease, so this type of study is urgently required around influence of the project, so research advances have been made in clones by Agrosavia, but in other regions of the country.

Purpose: The objective of the present study was to evaluate the incidence of *Phytophthora* spp. in cocoa clones, with applications of *Trichoderma* sp. in environmental conditions of the department of Huila, to contribute to the research line in agricultural biotechnology.

Methodology: Evaluation parameters were used for incidence and severity of *Phytophthora* spp. in 10 cocoa clones: EET 8, TSH 565, SCC 61, ICS 1, ICS 95, HIBRIDO, IMC 67, ICS 39, ICS 60 and CCN 51: T1: (*Trichoderma asperellum*, *Trichoderma atroviridae*, *Trichoderma harzianum*). Presentation wettable powder PW. T2: (*Trichoderma viride*) liquid presentation concentrated suspension SC. T3: Control, without any application; in two periods of production phase I (13, 20 and 27 December) and phase II (14, 21 and 28 May).

Results and conclusions: It is concluded that the effects on *Phytophthora* spp. respond to the combination of the susceptibility of the plant material used and the action of *Trichoderma* sp. on the cocoa crop. In phase II there is a significant difference between the control and the powder treatment, compared to the liquid treatment, the latter being the one that exerts better control over the disease.

Key words: black pod rot, dormancy, genetic resistance, incidence, severity, *Theobroma cacao*

1. INTRODUCCIÓN

El cacao se cultiva en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países ubicados en cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía); 23 de esos países de América producen cacao con fines comerciales, lo que lo convierte en un cultivo de gran importancia económica, social, ambiental y, particularmente, cultural para los territorios en donde se produce (Arvelo *et al.*, 2017).

La especie de cacao (*Theobroma cacao* L.) se originó en los bosques húmedos tropicales de América del Sur y domesticada en Mesoamérica. El cacao comprende una gran variedad genética para su caracterización, donde se utilizan características morfológicas (por ejemplo, flores); características agronómicas (por ejemplo, resistencia a enfermedades, forma del fruto y tamaño del grano); y moleculares (isoenzimas); así como con frecuencia marcadores genéticos (Arvelo *et al.*, 2017).

En la actualidad se conocen tres grupos genéticos de cacaos: cacao criollo, originario de América del Sur y América Central; cacao forastero, el cual procede de la cuenca del Amazonas; y el cacao trinitario, que surgió en Trinidad y Tobago como un híbrido del tipo forastero y criollo (Ospino *et al.*, 2020), a partir de los cuales se desprenden las variedades, híbridos y clones que hoy se siembran a nivel mundial; especialmente el tipo forastero que posee una alta variabilidad

genética, mientras que las formas criollo son genéticamente más estrechamente definidas.

Su diversidad genética se deriva de su condición sexual, ya que la planta es alógama, lo que indica que su polinización es cruzada y centrada en la polinización entomófila. Debido a su base genética altamente heterocigótica por su polinización, producen plantas con características impredecibles y diferentes, por lo cual los clones se recomiendan al permitir conservar todas las características de la planta madre y generar poblaciones de plantas homogéneas (Cerón *et al.*, 2020).

El cultivo de cacao en Colombia es una especie principal en los sistemas agroforestales, el cual hace contribuciones a la sostenibilidad ambiental, permitiendo la captura de carbono, la protección del recurso hídrico, de la biota del suelo y de la diversidad de fauna y flora. (Aranzazu *et al.*, 2009), además de su importancia económica para las familias campesinas. No obstante, en algunas zonas los cultivos presentan baja productividad, debido a problemas sanitarios y de incompatibilidad sexual, que se traducen en aumento de costos de producción, especialmente de mano de obra, lo que causa un menor ingreso para el productor.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante que los productores de cacao tengan un conocimiento adecuado sobre los

clones con adaptabilidad en sus regiones y su manejo agronómico adecuado, lo que les permite tener una mayor productividad y, por ende, mayor rentabilidad o ingresos (Polanco *et al.*, 2020).

Los materiales usados actualmente en el país en su mayoría fueron introducidos en el siglo pasado desde Trinidad y Tobago, Ecuador y Costa Rica, complementados con algunas selecciones nacionales (Aranzazu *et al.*, 2009). Dentro de los clones más usados en Colombia se encuentran ICS1, ICS6, ICS39, ICS60, ICS95, CCN51, TSH565, TSH812, EET8, EET96, IMC67, UF613, FLE12, FLE3, SCC59, SCC61, CAU39, FSA11, FSA12, FSA13, FEAR5, FTA1 y FTA2 (Fedecacao, 2013). De los cuales la producción se concentra en dos picos de cosecha: el primero durante los meses de noviembre, diciembre y enero, y el segundo entre los meses de abril, mayo y junio (Aranzazu *et al.*, 2009).

Según la Gobernación del Huila de la producción de cacao se deriva el sustento de alrededor de 3300 familias, con 7000 hectáreas sembradas, distribuidas en 35 municipios, con las que se alcanzó una producción de 4197 toneladas al cierre de 2020, donde se destaca el aporte de Gigante, Rivera, Campoalegre, Algeciras, Tello y Palermo.

Phytophthora spp. es el agente causal del cáncer del tronco y pudrición o mancha

parda o negra de la mazorca. La presencia de *Phytophthora* en países tropicales corresponde en su mayoría a un complejo de las especies de: *P. capsici*, *P. citrophthora*, *P. megakarya*, *P. hevea* y *P. palmivora*, donde esta última es la más frecuente y agresiva (Bahia *et al.*, 2015). Se conoce que solo *P. palmivora* se encuentra distribuida a nivel mundial en todas las zonas productoras de cacao del trópico, donde puede causar hasta el 100% de pérdidas en años con altas precipitaciones.

El control de *Phytophthora* spp. se establece en productos con cobre que generan contaminación al ambiente y costo adicional a los productores (Acurio y Montes, 2018; Zúñiga, 2020). En el mercado se encuentran algunas alternativas para control de *Phytophthora* spp. menos nocivas, como el uso de extractos naturales o la aplicación de hongos como *Trichoderma* que inhiben el desarrollo micelial, por lo que se hace necesario integrar diferentes métodos de control como la resistencia genética al seleccionar clones menos susceptibles a esta enfermedad. Dada la importancia económica, social y ambiental del cultivo de cacao, el objetivo principal del estudio fue evaluar la efectividad de dos cepas de *Trichoderma* sp. en campo, para control de *Phytophthora* spp. en clones de cacao.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 10 clones de cacao: EET 8, STSH 565, SCC 61, ICS 1, ICS 95, HIBRIDO, IMC 67, ICS 39, ICS 60 y CCN 51., en los cuales se midió la incidencia y severidad de *Phytophthora* spp., en dos fincas productoras de cacao orgánico de Algeciras, Huila. Las condiciones climáticas promedio son: Temperatura 22°C, precipitaciones 1.500 mm, altitud 1.100 y 1.200 metros sobre el nivel del mar.

Los tratamientos empleados: T1: (*Trichoderma asperellum*, *Trichoderma atroviridae*, *Trichoderma harzianum*), presentación polvo mojable PW. T2: (*Trichoderma viride*) presentación líquida suspensión concentrada SC. T3: Testigo, sin ninguna aplicación; durante tres semanas consecutivas se aplicaron con la dosis recomendada por el fabricante, en dos picos de cosecha fase I (13, 20 y 27 de diciembre) registrando temperatura promedio de 22 °C, época seca y fase II (14, 21 y 28 de mayo) con temperatura promedio de 19 °C, época de lluvia.

La toma de datos se realizó durante tres semanas posteriores a la aplicación final. En campo se empleó un diseño de bloques al azar con tres parcelas replicadas por tratamiento, cada una de las cuales tenía 50 árboles de cacao en un diseño de parcela similar al utilizado por Hidalgo *et al.*, (2003). Los 18 árboles internos se usa-

ron para evaluar los tratamientos y los 25 árboles circundantes, aunque tratados, para eliminar los efectos de borde.

La incidencia de la enfermedad se calculó contando el número de frutos (mazorcas) con síntomas de la enfermedad en porcentaje mediante la fórmula: mazorcas enfermas sobre el total de mazorcas por cien. Se considero el estado de madurez de las mazorcas y el desarrollo de la enfermedad en mazorcas verdes y maduras. La severidad externa se calculó, en primer lugar, con base en el porcentaje de tejido afectado en el fruto, para esto se utilizó una escala dada en grados y porcentaje de daño (Grado 1= 0 fruto sano; Grado 2= 1-25 protuberancia; Grado 3= 26-50 inicio de mancha; Grado 4= 51-75 mancha Grado 5=76-100 76-100 esporulación), propuesta por Villamil *et al.*, (2015), luego, mediante la sumatoria de los grados de daño en porcentaje sobre el número total de datos por el mayor dato del porcentaje de severidad.

Para el diseño experimental se realizó la comparación entre la fracción de mazorca sana y de los rendimientos de los diferentes tratamientos, se hizo por medio de la prueba de Kruskal-Wallis, acto seguido se aplicó la prueba Ranks utilizando el paquete estadístico InfoStat.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la importancia del cultivo de cacao a nivel nacional, es importante fortalecer este sistema productivo en las diferentes regiones del país, con un conocimiento claro de los genotipos establecidos, la ecofisiología del cultivo, el nivel productivo, la adaptación a las condiciones propias de la región, así como la tolerancia o susceptibilidad a problemas fitosanitarios.

La diversidad de clones permite tener una visión más amplia del efecto del *Trichoderma* spp. sobre el patógeno de estudio, de manera general al evaluar los 10 clones (Tabla 1) en las dos fases, se identificó

que los clones ICS-95 y ICS 60 desarrollaron mayor incidencia con una severidad en grados 4 y 3 respectivamente en la fase I. En estudio realizado por Rodríguez y Vera (2015) para evaluar el ciclo de vida de *Phytophthora* spp., donde ICS 95 y ICS 60, se identificaron los clones donde se desarrolla más rápido el patógeno en un promedio de 8 días hasta la esporulación, por lo que los clones ICS 95 y ICS 60 son clasificados como susceptibles. Lo ratifica López y Ramírez (2019) quienes evaluaron 90 clones y clasificaron al clon ICS-95 como susceptible *Phytophthora palmivora*.

Tabla 1. Efecto del *Trichoderma* spp. sobre la incidencia de *Phytophthora* sp. en diferentes clones de cacao en dos fases de estudio; fase I (13, 20 y 27 de diciembre) y fase II (14, 21 y 28 de mayo)

Clon	FASE I*			Clon	FASE II**		
	Incidencia (%)	Grado de severidad			Incidencia (%)	Grado de severidad	
EET 8	0,00	A	0	EET 8	0,00	A	0
SCC 61	0,00	A	0	IMC 67	6,99	AB	3
TSH 565	1,83	AB	4	ICS 39	10,28	ABC	3
ICS 39	2,17	ABC	4	HIBRIDO	12,61	ABC	3
ICS1	2,48	ABC	3	CCN 51	10,85	ABC	3
CCN 51	6,79	ABC	4	TSH 565	13,12	ABCD	3

HIBRIDO	7,25	ABC	4	ICS 95	18,44	BCD	3
IMC 67	9,38	BC	4	SCC 61	16,67	CD	3
ICS 60	13,04	BC	3	ICS1	20,66	CD	3
ICS 95	17,38	C	4	ICS 60	32,15	D	4

Fuente: autores.

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

** Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Las figura 1 y 2 presentan el comportamiento de los clones de cacao según cada tratamiento de *Trichoderma* en las dos fases de evaluación. En la Fase I (Figura 1) se presentó un menor desarrollo de la enfermedad en referencia con las condiciones ambientales. Se destaca que los clones EET 8 y SCC 61 no presentaron desarrollo de la enfermedad. Se identifica un mayor control que ejerce el tratamiento líquido en todos los clones, además, que los clones ICS 39, TSH 565 y ICS 1 presentaron un menor desarrollo de la enfermedad, lo cual está relacionado con su variabilidad genética y el efecto del *Trichoderma*. En esta etapa se destacan los clones ICS 95, ICS 60 e IMC 67 como los más afectados.

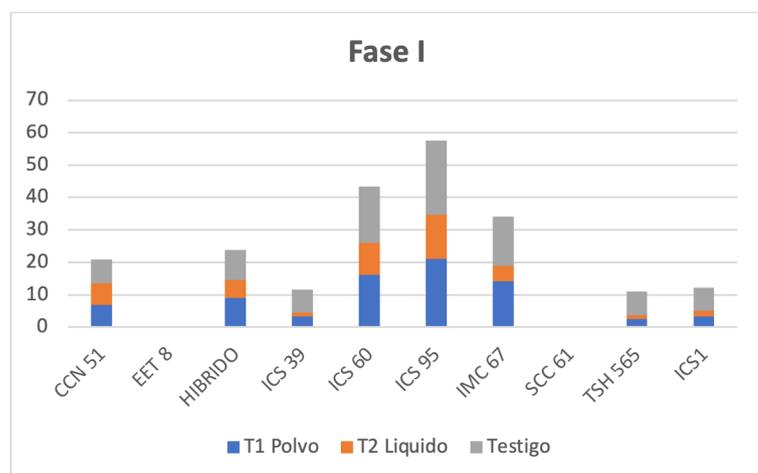
El análisis la incidencia de la Fase II (Figura 2) se identifican los clones más afectados al ICS 60 e ICS 95, lo que concuerda con lo encontrado por Polanco *et al.* (2020), donde el ICS 95 es susceptible a *Phytophthora* (*Phytophthora palmivora*).

En la fase II se resalta que los clones moderadamente susceptibles a la enfermedad al tener menor severidad e incidencia en los dos tratamientos, polvo y líquido, son

los clones IMC 67 e ICS 39. Lo que coincide con Rodríguez *et al.*, (2022) quienes evaluaron la incidencia y severidad de la enfermedad de *P. palmivora* en seis clones de cacao (EET8, IMC67, TSH565, 46PA, ICS95 y CCN51), como resultado se identificaron los clones IMC67 y PA46 como moderadamente susceptibles.

Figura 1.

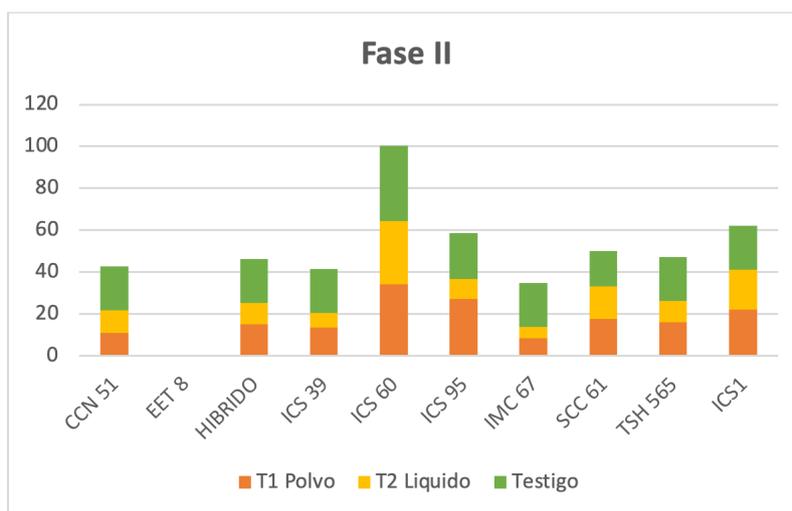
Comportamiento de la severidad de *Phytophthora* spp. en clones de cacao con aplicación de *Trichoderma* T1: (*Trichoderma asperellum*, *Trichoderma atroviridae*, *Trichoderma harzianum*). Presentación polvo mojable PW. T2: (*Trichoderma viride*), presentación líquida Suspensión concentrada SC. T3: Testigo, sin ninguna aplicación en etapa de producción fase I (13, 20 y 27 de diciembre)



Fuente: autores.

Figura 2.

Comportamiento de la severidad de *Phytophthora* spp. en clones de cacao con aplicación de Trichoderma T1: (*Trichoderma asperellum*, *Trichoderma atroviridae*, *Trichoderma harzianum*). Presentación polvo mojable PW. T2: (*Trichoderma viride*) presentación líquida Suspensión concentrada SC. T3: Testigo, sin ninguna aplicación en etapa de producción fase II (14, 21 y 28 de mayo)



Fuente: autores.

Con los resultados presentados en las figura 1 y 2 se evidencia el control del *Trichoderma* sobre la enfermedad de estudio, se ratifica lo descubierto por Hernández-Rodríguez *et al.*, (2014) quienes demostraron que especies de *Trichoderma* inhiben el crecimiento de *Phytophthora* spp., tanto en condiciones *in vitro* como *in vivo*. *Trichoderma* cepa G-6, cuya aplicación disminuyó la incidencia de la enfermedad en condiciones de campo y las pérdidas económicas en el cultivo del 12% a 2%. Estos resultados confirman que la aplicación de productos con cepas de *Trichoderma* permiten mitigar los efectos deletéreos ocasionados por *P. palmivora* en T. cacao y sus potencialidades de uso en el cultivo.

Al comparar los tratamientos en la fase I y fase II (Tabla 1) se identifica estadística-

mente que no presentó diferencias significativas en la fase I y en la fase II no hay una diferencia significativa entre el testigo y el tratamiento en polvo, pero sí entre el tratamiento líquido, este último hace mayor control de *Phytophthora* spp. También se resalta que la condición climática está relacionada con el desarrollo de la enfermedad, en la fase I en época seca la incidencia fue más baja y en la fase II con registro de temperatura promedio de 19 °C y época de lluvia, se evidenció una mayor incidencia, lo que coincide con lo analizado por Plancarte *et al.*; (2017), en donde indica que la mayoría de las especies de *Phytophthora* son favorecidas por alta humedad, temperaturas entre 15 y 35 °C, climas húmedos con lluvias abundantes. De igual forma lo exponen Rodríguez y Vera (2015) en su estudio, en donde muestra que la precipitación es uno de

los factores más importantes para la ocurrencia de brotes repentinos de la enfermedad, que inician entre cuatro a cinco días después de una fuerte lluvia.

Tabla 1. Prueba de Ranks para la incidencia de *Phytophthora* spp. en plantas de cacao tratadas con *Trichoderma* spp. en presentación en polvo y líquido en dos épocas de producción fase I y Fase II

FASE I Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Incidencia	T1 Polvo	10	7,63	7,29	5,15	2,91	0,2296
Incidencia	T2 Liquido	10	4,43	4,61	3,11		
Incidencia	Testigo	10	9,41	7,24	7,33		

Trat.	Medias	Ranks	
T2 Liquido	4,43	12,00	A
T1 Polvo	7,63	15,80	A
Testigo	9,41	18,70	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

FASE II Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Incidencia	T1 Polvo	10	16,54	9,66	15,63	5,53	0,0607
Incidencia	T2 Liquido	10	11,81	8,27	10,10		
Incidencia	Testigo	10	18,56	6,67	21,00		

Trat.	Medias	Ranks	
T2 Liquido	11,81	10,60	A
T1 Polvo	16,54	16,10	A B
Testigo	18,56	19,80	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4. CONCLUSIONES

Se concluye que los resultados responden a la combinación de la susceptibilidad del material vegetal empleado y el efecto del *Trichoderma* spp. en el avance de la *Phytophthora* spp. en el cultivo de cacao.

Se reitera el comportamiento de la fase I del tratamiento líquido al tener un mayor control de la enfermedad en todos los

clones. Estadísticamente no presentó diferencias significativas en la fase I entre los clones y los tratamientos. En la fase II hay una diferencia significativa entre el testigo y el tratamiento en polvo, frente al tratamiento líquido, siendo este último el que ejerce mejor control sobre la enfermedad.

REFERENCIAS

- Acurio, O. K., y Montes, D. J. (2020). *Aplicación de los biofungicidas orgánicos en el control de la mazorca negra (Phytophthora spp.) en cultivo de cacao (Theobroma cacao) en el cantón valencia*. [Bachelor's Thesis]. La Maná, Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Aranzazu, H. F., Martínez, G. N., Palencia, C. G., Coronado, R., y Rincón, G. D. (2009). *Manejo del recurso genético para incrementar la producción y productividad del sistema de cacao en Colombia*. Federación Nacional de Cacaoteros; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19489>
- Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T. y Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José.
- Bahia, R. D. C., Aguilar-Vildoso, C. I., Luz, E., Lopes, U. V., Machado, R. C. R., y Corrêa, R. X. (2015). Resistance to black pod disease in a segregating cacao tree population. *Tropical Plant Pathology*, 40, 13-18. <https://doi.org/10.1007/s40858-014-0003-7>
- Cerón, I. X., García, M. C., Rodríguez, E., Cubillos, A., Polanco, E., López, M., ... y Méndez, F. Q. (2020). *Estrategias tecnológicas para el manejo del cultivo y el beneficio del cacao*. Agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.institucional.7403572>
- Gobernación del Huila. (2022). *En el Huila inicia el censo cacaotero 2022*.

<https://www.huila.gov.co/publicaciones/12426/en-el-huila-inicia-el-censo-cacaotero-2022/>

- Hernández-Rodríguez, A., Ruíz-Beltrán, Y., Acebo-Guerrero, Y., Miguélez-Sierra, Y., y Heydrich-Pérez, M. (2014). Antagonistas microbianos para el manejo de la pudrición negra del fruto en *Theobroma cacao* L: estado actual y perspectivas de uso en Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 2 (1), 11-19.
- Hidalgo, E., Bateman, R., Krauss, U., Ten Hoopen, M., and Martínez, A. (2003). A field investigation into delivery systems for agents to control *Moniliophthora roreri*. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 953-961. <http://doi.org/10.1023/B:EJPP.00000003746.16934.e2>
- López M.T. y Ramírez O. A. (2019). *Resistencia genética de cultivares de cacao a la enfermedad de mazorca negra*. IICA Memoria Técnica Mesa de Frutales y Café. <https://dicta.gob.hn/files/2019,-Memoria-tecnica-PCCM-CA-Frutales-y-Cafe.pdf>
- Ospino, A. R., Álvarez, M. G., Machado-Sierra, E., y Aranguren, Y. (2020). Caracterización fenotípica y genotípica de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Dibulla, La Guajira, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-17. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1557
- Plancarte, A. S., Alvarado, G. R., Pavía, Y. L. F., Santos, M. E. P., Pérez, L. L., Celaya, M. D., y Pavía, S. P. F. (2017). Protocolos de aislamiento y diagnóstico de *Phytophthora* spp.: enfoque aplicado a la investigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1867-1880. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.708>
- Polanco, E., Moreno, J. M., y Quiñonez, F. (2020). Caracterización morfológica de genotipos de cacao establecidos en las zonas productoras de los municipios de Mariquita y Palocabildo (Tolima). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-17. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1557
- Ramos Z., Blanca A. (2020). *Efecto de fungicidas minerales aplicados al fruto del cacao (Theobroma cacao L.) para el control de Moniliophthora roreri y Phytophthora palmivora*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6729>
- Rodríguez, L., Carrero, M. L., Bayardo, E., and Segura, J. D. (2022). Reaction of detached fruits from selected cocoa clones to artificial inoculation with *Phytophthora palmivora*. *Acta Agronómica*, 71(2), 186-194.
- Rodríguez, P. E., y Vera, R. A. G. (2015). *Identificación y manejo de la pudrición parda de la mazorca (Phytophthora spp.) en cacao*. Corpoica <https://doi.org/10.15446/acag.v71n2.88841>
- Villamil, J. E., Viteri, S. E. y Villegas, W. L. (2015). Aplicación de antagonistas microbianos para el control biológico de *Moniliophthora roreri* Cif y Par en *Theobroma cacao* L. bajo condiciones de campo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(1), 7441-7450. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47830>



Licencia de Creative Commons

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Fecha de recibido: 18-10-2023

Fecha de aceptado: 06-12-2023

DOI: 10.22490/ECAPMA.7034

HALLAZGOS ECOGRÁFICOS EN LA ENFERMEDAD DEL TRACTO URINARIO INFERIOR FELINA (F.L.U.T.D)

ULTRASOUND FINDINGS IN FELINE LOWER URINARY TRACT DISEASE (F.L.U.T.D)

Víctor Gerardo Petro Hernández

Médico Veterinario y Zootecnista, Magíster en Ciencia Animal

Red Internacional de Investigación en Bienestar Animal

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, ECAPMA CEAD Valledupar

Universidad de Santander, Facultad de Ciencias Agrícolas y Veterinarias,
Valledupar, Colombia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5442-009X> - victor.petro@unad.edu.co

Kelly Johana Ramírez Guzmán

Médico Veterinario y Zootecnista, Universidad del Tolima

ORCID <https://orcid.org/0009-0009-6436-6777> - kjramirezg@ut.edu.co

María Camila Molina Amaya

Red Internacional de Investigación en Bienestar Animal

Universidad de Santander, Facultad de Ciencias Agrícolas y Veterinarias,

Semillero de investigación SIMIVET, Valledupar, Colombia

ORCID <https://orcid.org/0009-0009-8575-7806> - Val19351005@mail.udes.edu.co

Rubén Darío Solar Vega

Red Internacional de Investigación en Bienestar Animal

Centro de Bienestar Animal, Valledupar

Universidad de Santander, Facultad de Ciencias Agrícolas y Veterinarias, Valledupar,
Colombia, Clínica Veterinaria PRISMA

ORCID <https://orcid.org/0009-0003-3310-5538> - rub.solar@mail.udes.edu.co

Citación: Petro, V.G., Ramírez, K., Molina, M. y Solar, R. (2024). Hallazgos ecográficos en la enfermedad del tracto urinario inferior felina (F.L.U.T.D).

Working Papers ECAPMA, 8(1), 21 – 35.

<https://doi.org/10.22490/ECAPMA.7034>

RESUMEN

Contextualización: la Enfermedad del Tracto Urinario Inferior Felino, conocida como FLUTD, es el conjunto de síntomas clínicos asociados a disturbios de la mucosa vesical y uretral del paciente felino, relacionados con la Cistitis Idiopática Felina (CIF), urolitiasis, Infección Bacteriana del Tracto Urinario (ITU), neoplasia de la pared vesical y los trastornos neurológicos. La ecografía abdominal es uno de los métodos diagnósticos más utilizados en patologías relacionadas con el tracto urinario, ya que permite observar con claridad la estructura renal, los uréteres, la vejiga y la uretra, que indicaría de una manera no invasiva si el paciente presenta alguna anormalidad en su tracto urinario.

Vacío de conocimiento: dado que es una enfermedad causada por diferentes patologías que se caracterizan por presentar signos clínicos similares es necesario conocer, mediante el método diagnóstico más utilizado, la ecografía abdominal, los hallazgos más comunes para así detectar la causa principal y aplicar un tratamiento eficaz para nuestros pacientes felinos.

Propósito del estudio: identificar y caracterizar los hallazgos ecográficos más comunes en FLUTD de pacientes que ingresaron al servicio de diagnóstico ultrasonográfico en la clínica CUV de la ciudad de Ibagué, desde el 9 de mayo al 9 de septiembre del 2022.

Metodología: se obtuvieron las imágenes ecográficas de los felinos que ingresaron a la clínica con sintomatología de FLUTD para luego organizarlas de acuerdo con los hallazgos ecográficos más comunes, denotando las diferencias y similitudes estructurales entre pacientes. Las imágenes se obtuvieron mediante el equipo portátil Mindray DP-20, utilizando sonda lineal de hasta 10 Mhz y sonda microconvex de hasta 8.5 Mhz.

Resultados y conclusiones: el hallazgo ecográfico más evidenciado fue la presencia de sedimento no mineralizado en diez casos (35,7%); en segundo lugar, se encontraron otras variaciones anatómicas como sedimento no mineralizado con engrosamiento de la pared vesical, presencia de sedimento mixto y flóculos, solo sedimento mixto y sedimento mixto con engrosamiento de la pared vesical y flóculos, cada uno de estos con tres casos (10,7%). Los hallazgos menos comunes fueron: sedimento no mineralizado con aumento en el grosor de la pared vesical y la presencia de contenido libre, sedimento no mineralizado con hilos de fibrina, dilatación uretral y la presencia de sedimento mixto con aumento en el grosor de la pared vesical, cada uno con un caso (3,5%) del total de los veintiséis pacientes.

Palabras clave: cystitis, diagnóstico, ultrasonido, urinario

ABSTRACT

Let's contextualize. Feline lower urinary tract disease known as FLUTD, is the set of clinical symptoms associated with disorders of the bladder and urethral mucosa of the feline patient associated with feline idiopathic cystitis (FIC), urolithiasis, bacterial urinary tract infection (UTI), bladder wall neoplasia and neurological disorders. Abdominal ultrasound is one of the most used diagnostic methods in pathologies related to the urinary tract, which allows us to clearly observe the renal structure, ureters, bladder, and urethra, which would indicate in a non-invasive way if the patient presented some abnormality in your urinary tract.

Knowledge gap. Being a disease caused by different pathologies that are characterized by presenting similar clinical signs, it is necessary to know by means of the most used diagnostic method, which is abdominal ultrasound, the most common hallmarks to detect the main cause and thus an effective treatment for our feline patients.

Purpose from the studio. Identify and characterize the most common echographic hallmarks in FLUTD of patients who entered the ultrasound diagnostic service at the CUV clinic in the city of Ibagué, from May 9th to September 9th, 2022.

Methodology for obtaining ultrasound images of the felines that entered the clinic with symptoms of FLUTD to organize them accordingly to the most common echographic hallmarks, denoting the differences and structural similarities between patients. The images were obtained using the Mindray DP-20 portable equipment, using a linear probe up to 10 Mhz and a microconvex probe up to 8.5 Mhz.

Results and conclusions. The most evident echographic hallmark was the presence of non-mineralized sediment in 10 cases (35.7%); Secondly, there are other anatomical variations, (Non-mineralized sediment with thickening of the bladder wall; Presence of mixed sediment and floccules; Solo mixed sediment; And mixed sediment with thickening of the bladder wall and floccules), each of these with 3 cases (10.7%). The least common hallmarks are: Non-mineralized sediment with an increase in the thickness of the bladder wall and the presence of free content; Non-mineralized sediment with fibrin hila; Urethral dilation; There is the presence of mixed sediment with increase in the thickness of the bladder wall, each with 1 case (3.5%) of the total number of patient veins.

Keywords: ultrasound; diagnosis; cystitis; urinary.

1. INTRODUCCIÓN

La Enfermedad del Tracto Urinario Inferior Felino, conocida como FLUTD, por las iniciales de su denominación en inglés (Feline Lower Urinary Tract Disease), es el nombre que se le da a un conjunto de alteraciones que afectan a la vejiga y a la uretra de los gatos (Piyarungsri *et al.*, 2020).

Su presentación es igual en ambos sexos, aunque tiende a ser más frecuente y con mayor incidencia en machos, ya que además de tener influencia hormonal son más propensos a presentar obstrucción uretral, por ser esta más larga y estrecha que en las hembras, con signos clínicos variables y cambiantes: disuria, hematuria, poliuria, polaquiuria y estranguria; además, pueden ser causados por cambios anatómicos y fisiológicos en la luz y el diámetro de las vías urinarias inferiores, más exactamente en la uretra (Tabar y Planellas, 2010; Sáenz, 2021; Rodríguez, 2022; Finstad *et al.*, 2023).

Según Kaul *et al.* (2019), el 55,0- 69,0% de los gatos con FLUTD padecen Cistitis Idiopática Felina (CIF); 12,0- 22,0%, urolitiasis; de 1,5- 20,0%, Infección Bacteriana del Tracto Urinario (ITU); de 0,3- 3,6%, neoplasia de la pared vesical; y de 0,2- 3,0% trastornos neurológicos, pudiéndose ver agravado por la Obstrucción Uretral (UO) en gatos machos, que se observa en el 15,0- 57,1% de los gatos con CIF y en el 20,0-66,7 % de los gatos con urolitiasis.

Entre las principales causas del FLUTD se tiene con mayor frecuencia la cistitis idiopática felina y la urolitiasis, donde los urolitos aparecen cuando la orina se encuentra sobre saturada con minerales. Adicionalmente, el pH se halla alterado y estos urolitos quedan atrapados en el tracto urinario y pueden ir incrementando su tamaño. Entre los principales minerales componen están los de estruvita y el oxalato de calcio (Reinoso *et al.*, 2018).

Otra etología frecuente son los tapones uretrales, los cuales son compuestos de material proteico combinados con cristales, matriz, material orgánico o células sanguinolentas (Segev *et al.*, 2011; Finstad *et al.*, 2023), por lo que las neoplasias, malformaciones o traumas son de menor incidencia.

Para el diagnóstico de FLUTD hay que tener en cuenta la reseña, la historia clínica y la anamnesis, donde se incluya información referente al comportamiento en casa y si se han presentado cambios en el entorno que pudieran generarle estrés. Además, se requiere un buen examen clínico debido a que las etiologías del FLUTD tienden a ser muy parecidas (Espinosa, 2017; Evangelista *et al.*, 2023; Finstad *et al.*, 2023). La implementación de urianálisis con urocultivos, hemograma, perfil bioquímico que incluye creatinina, ALT, se debe tener en cuenta en pacientes obstruidos, además de tener presente el monitoreo de ácido-base y la

implementación del diagnóstico por imágenes, ya sea por radiografía, ecografía y eco Doppler (Espinosa, 2017; Evangelista GC, *et al.*, 2023).

La ecografía abdominal es uno de los métodos diagnósticos más utilizados en patologías relacionadas con el tracto urinario, ya que nos permite observar con claridad la estructura renal, los uréteres, la vejiga y la uretra, y así identificar si existen focos de inflamación, sedimentación en la vejiga; lo que indicaría de una manera no invasiva si el paciente está

predisponente a sufrir urolitiasis o la presencia de cálculos ya formados (Houston, 2010; Gomes *et al.*, 2019; Evangelista GC, *et al.*, 2023).

El siguiente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de identificar y caracterizar los hallazgos ecográficos más comunes en FLUTD de pacientes que ingresaron al servicio de diagnóstico ultrasonográfico en la clínica CUV de la ciudad de Ibagué, desde el 9 de mayo al 9 de septiembre del 2022.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio descriptivo y observacional de tipo retrospectivo en el cual se recolectaron las historias clínicas de los pacientes felinos ingresados a la clínica Central de Urgencias Veterinarias, en la ciudad de Ibagué, Colombia, a consulta con sintomatología de FLUTD en los periodos del 9 de mayo al 9 de septiembre del año 2022.

Las historias clínicas de los pacientes se clasificaron por fecha de ingreso, sexo y grupo etario. Se realizó una segunda clasificación en la cual solo fueron seleccionados

los pacientes que autorizaron realizar un estudio ecográfico como ayuda diagnóstica; se obtuvieron las imágenes ecográficas de cada paciente y se organizaron de acuerdo con los hallazgos ecográficos más comunes y menos comunes en los pacientes con FLUTD, mostrando los porcentajes de presentación, las diferencias y similitudes entre pacientes.

Las imágenes ecográficas se obtuvieron mediante el equipo portátil Mindray DP-20, utilizando sonda lineal de hasta 10 Mhz y sonda microconvex de hasta 8.5 Mhz.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generalmente, el FLUTD depende de diversas causas, desde cistitis idiopáticas, urolitos, Infección del Aparato Urinario (IAU), anomalías anatómicas (restos de uraco y estrechamiento uretral), traumatismos, alteraciones neurológicas, comportamentales y neoplasias que desencadenan dicho trastorno en las vías urinarias bajas (Fernández, 2021).

La sensibilidad y especificidad de los métodos diagnósticos influyen en conjunto con la anamnesis del paciente para llegar a un diagnóstico oportuno. Con una sensibilidad del 77%, la ecografía es una de las técnicas con las que podemos evaluar la presencia de cálculos y tapones en la vejiga urinaria, recolectando datos referentes al tamaño, número, ubicación y forma, además de distinguir las diversas etiologías del FLUTD (Gomes *et al.*, 2019; Rodríguez, 2022). Incluyendo el diagnóstico de neoplasia vesical, pólipos y cálculos quísticos (Rodríguez, 2022).

Dentro de los posibles hallazgos ecográficos los más comunes son: sedimentos urinarios, engrosamiento de la pared de la vejiga, grasa periquística hiperecoica en los casos de obstrucción uretral felina, mientras que los sedimentos y engrosamiento de la vejiga son más comunes en casos de FLUTD no obstructivos (Seo *et al.*, 2021).

En este estudio se evaluaron 26 pacientes que aceptaron el estudio ecográfico, de los 52 felinos que ingresaron a consulta por sintomatología urinaria para un total de 44,8%.

Los hallazgos ecográficos más comunes en pacientes con sintomatología de FLUTD que ingresaron al servicio de consulta en la Clínica Central de Urgencias Veterinarias, en el periodo que comprende del 9 de mayo y el 9 de septiembre del 2022 en la ciudad de Ibagué, Tolima, se describen en el Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los hallazgos ecográficos evidenciados en los pacientes con FLUTD atendidos en la clínica *Central de urgencias veterinarias*, desde el 9 de mayo al 9 de septiembre de 2022

Hallazgo ecográfico	Descripción
Sedimento no mineralizado	Vejiga urinaria hipoeoica con presencia de estructuras milimétricas flotantes hiperecogénicas sin brillo
Sedimento no mineralizado con engrosamiento de la pared vesical	Vejiga urinaria hipoeoica con presencia de estructuras milimétricas flotantes hiperecogénicas sin brillo. Pared con aumento de grosor y ecogenicidad

Sedimento mixto y flóculos	Vejiga urinaria con contenido hipoeoico y presencia de estructuras hiperecogénicas de diversa intensidad flotantes
Sedimento mixto	Vejiga urinaria con contenido hipoeoico y presencia de estructuras hiperecogénicas mixtas flotantes y sedimentadas
Sedimento mixto, engrosamiento de la pared vesical y flóculos	Vejiga urinaria con contenido hipoeoico, presencia de estructuras hiperecogénicas mixtas flotantes y sedimentadas Pared con aumento de ecogenicidad y de grosor, bordes con leve irregularidad
Sedimento no mineralizado y flóculos	Vejiga urinaria con contenido hipoeoico con estructuras flotantes hiperecogénicas sin y con brillo
Sedimento mixto con engrosamiento de la pared vesical	Vejiga urinaria con contenido hipoeoico y presencia de estructuras hiperecogénicas mixtas flotantes y sedimentadas Pared con aumento de grosor lo mismo que leve irregularidad en superficie
Sedimento no mineralizado, aumento en el grosor de la pared vesical y derrame peritoneal	Vejiga urinaria con contenido hipoeoico con estructuras flotantes hiperecogénicas sin y con brillo Pared con aumento de grosor e irregular, contenido anecoico en peritoneo
Sedimento no mineralizado e hilos de fibrina	Vejiga urinaria con contenido hipoeoico con estructuras hiperecogénicas flotantes hiperecogénicas con presencia de estructuras lineales de aumento de ecogenicidad.
Dilatación uretral	Uretra pelviana distendida con contenido hipoeoico

Fuente: autores.

Existen reportes donde la urolitiasis de todos los tipos representa alrededor del 15% de los casos diagnosticados con FLUTD, de los cuales 7% de estruvita, 6% de oxalato y 1% composición desconocida (Ballesteros *et al.*, 2022). Sin embargo, como se evidencia en la Figura 1, de los hallazgos ecográficos más comunes en los pacientes con FLUTD, se encuentra en primer lugar la presencia de sedimento no mineralizado en diez casos (35,7%), siendo los urolitos de urato, ácido de amonio, fosfato de calcio, cistina y xantina son los menos frecuentes. En general, predomina un tipo de mineral, aunque la composición puede ser mixta (Hand y col., 2000).

Por lo que es una de las etologías más comunes en el FLUTD, estos cálculos pueden causar irritación en la pared de la vejiga, lo que conlleva a signos clínicos como hematuria, polaquiuria, estranguria y disuria, aunque estos pueden asociarse a otras enfermedades de las vías urinarias bajas (Gomes *et al.*, 2019; Finstad *et al.*, 2023). En el examen físico se pueden palpar urocistolitos en el 20% de los felinos; en algunos casos, es posible sentir la pared de la vejiga engrosada. Sin embargo, los exámenes por imágenes como la ecografía se consideran la herramienta más definitiva para este diagnóstico (Gomes *et al.*, 2019).

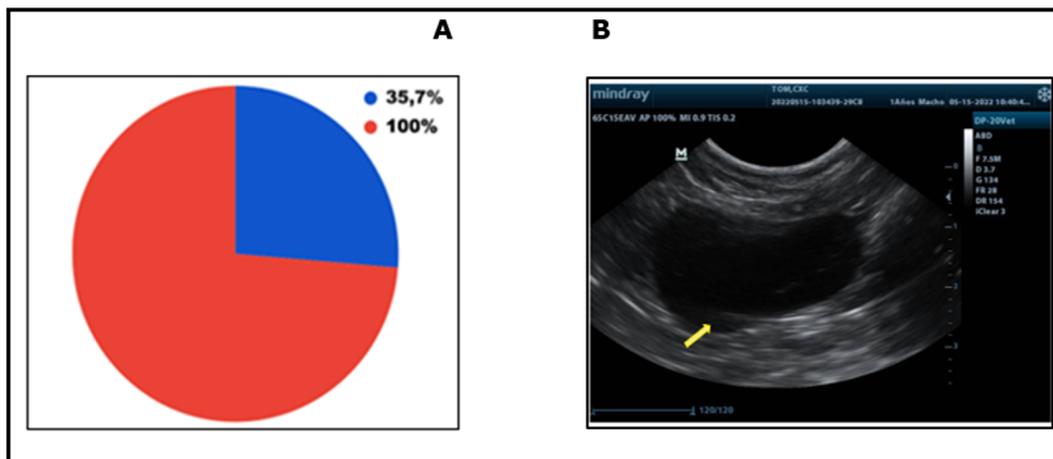


Figura 1.

A. Porcentaje de pacientes con sedimento no mineralizado.

B. Imagen ecográfica de paciente felino macho de 1 año donde se evidencia la presencia de **sedimento no mineralizado** señalado con la flecha

Fuente: autores.

En segundo lugar, se evidencian otras variaciones anatómicas, tales como: sedimento no mineralizado con engrosamiento de la pared vesical, presencia de sedimento mixto y flóculos, pedimento mixto y sedimento mixto con engrosamiento de la pared vesical y flóculos, cada uno de estos con tres casos del número total de pacientes en cada una de estas clasificaciones que corresponden al 10% (Figura 2 y 3). De igual manera, Sáenz (2021) reporta ultrasonografía en vejiga con bastante sedimento de ecogenicidad mixta y diámetro de la pared de 2.1mm, indicando inflamación severa.

Es así como estudios asocian el engrosamiento de la pared con el estímulo generado por el cortisol en gatos en situaciones de estrés y dolor. En estas condiciones, se observa una disminución de Glicosaminoglicanos (GAG), lo que genera la pérdida de la barrera protectora de la vejiga y altera su permeabilidad. Como consecuencia, los componentes de

la orina como el hidrógeno, calcio y potasio, estimulan las neuronas sensoriales, volviéndolas susceptibles y promoviendo el desarrollo de la inflamación. Este proceso también se acompaña del incremento de la absorción de la mucosa donde se contacten las neuronas aferentes, lo que provoca su inhibición. Todo esto lleva a la retención de orina, que es la que generará el cuadro clínico (Marroquín *et al.*, 2021; Finstad *et al.*, 2023).

De manera que la ecografía puede revelar material hiperecoico, coágulos de sangres y engrosamiento de la pared de la vejiga, como se evidencia en el presente caso. Por lo tanto, se debe medir la distancia vesical. Además, en los felinos que presentan este signo se observan pequeños ecos refringentes en la profundidad de los pliegues irregulares producidos en la mucosa, indicando la formación de sedimento mineral, cristales o focos de mineralización (Martínez, 2015).

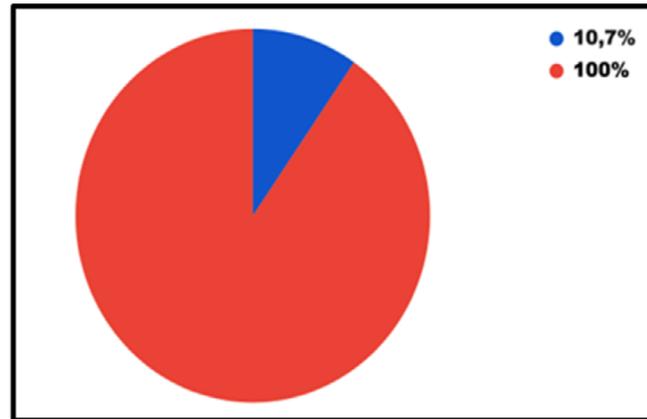


Figura 2.

Porcentaje de pacientes con sedimento no mineralizado con engrosamiento de la pared vesical, presencia de sedimento mixto y flóculos, sedimento mixto y sedimento mixto con engrosamiento de la pared vesical y flóculos.

Fuente: autores.

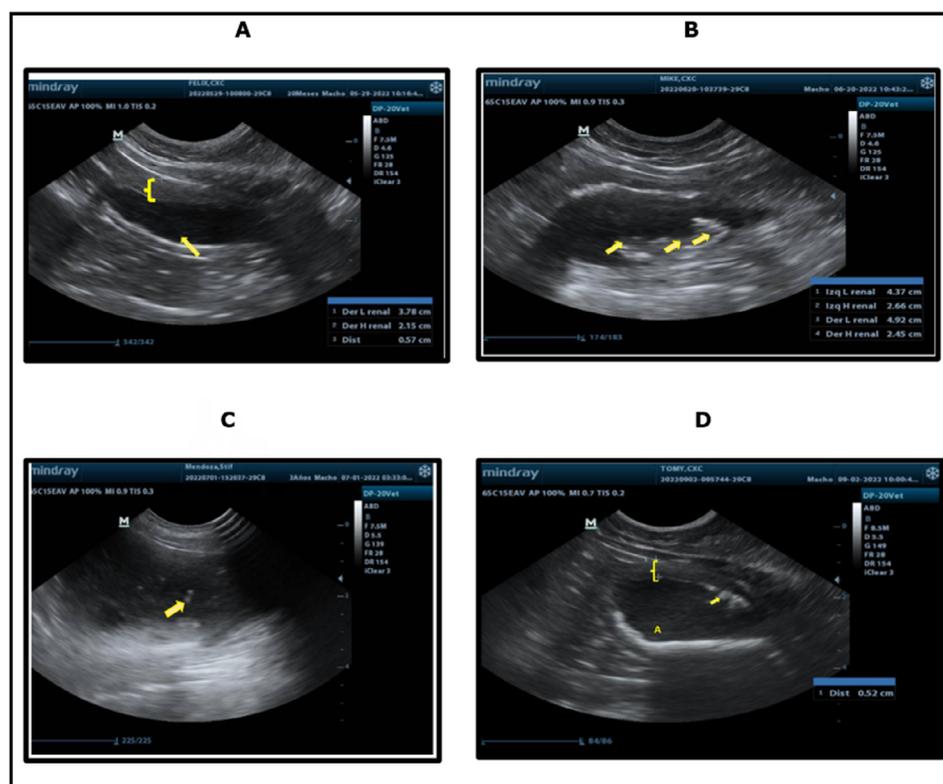


Figura 3.

Otras variaciones anatómicas. **A.** Imagen ecográfica de paciente felino macho de 20 meses en la cual se evidenció la presencia de **sedimento no mineralizado** (flecha) y **engrosamiento de la pared vesical** (llave). **B.** Imagen ecográfica de paciente felino macho de dos años donde se evidencia la presencia de **sedimento mixto y flóculos** (flechas). **C.** Imagen ecográfica de paciente felino macho de tres años en la cual se evidencia la presencia de **sedimento mixto** (flecha). **D.** Imagen ecográfica de paciente felino macho en la cual se evidencia la presencia de **sedimento mixto** (A) con **engrosamiento de la pared vesical** (llave) y flóculos (flecha).

Fuente: autores.

Continuando con los hallazgos ecográficos que se encuentran en menor frecuencia, tenemos la presencia de sedimento no mineralizado y flóculo, con dos casos (7,1%). Pérez *et al.* (2020) reportaron ve-

jiga levemente pletórica, con paredes ligeramente engrosadas y presencia de artefactos en flotación con ecogenecidad hiperecoica, compatibles con los flóculos evidenciados en este estudio (**Figura 4**).

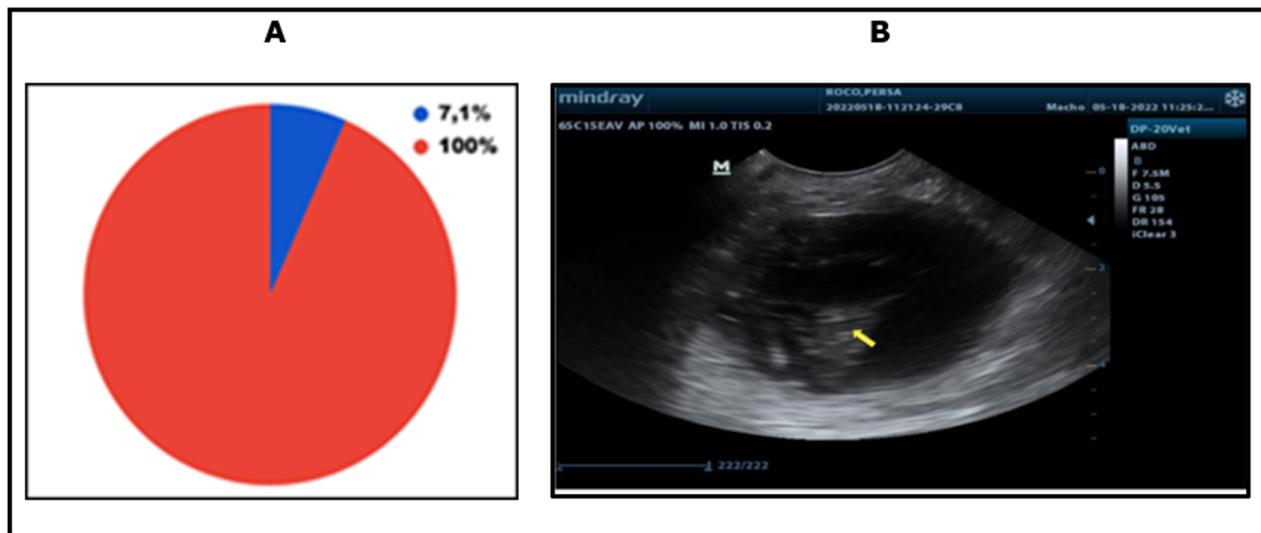


Figura 4.

Hallazgos ecográficos encontrados en menor frecuencia. **A.** Porcentaje de pacientes con sedimento no mineralizado y flóculo. **B.** Imagen ecográfica de paciente felino macho en la cual se evidencia la presencia de **sedimento no mineralizado y flóculo** (flecha)

Fuente: autores.

Como se describe en las **Figuras 5** y **6**, los hallazgos menos comunes son los siguientes: sedimento no mineralizado con aumento en el grosor de la pared vesical y la presencia de contenido libre, sedimento no mineralizado con hilos de fibrina, dilatación uretral y la presencia de sedimento mixto con aumento en el grosor de la pared vesical, cada uno con un caso del total de los veintiséis pacientes estudia-

dos (3,5%). Comparando con el caso reportado por Jaramillo (2021), en el que se encontró conjuntamente sedimento y hemorragia severa en la submucosa de distribución multifocal difusa y la formación de un coágulo organizado, como otro de los hallazgos menos comunes, se observan similitudes con los hallazgos dispuestos en el presente estudio.

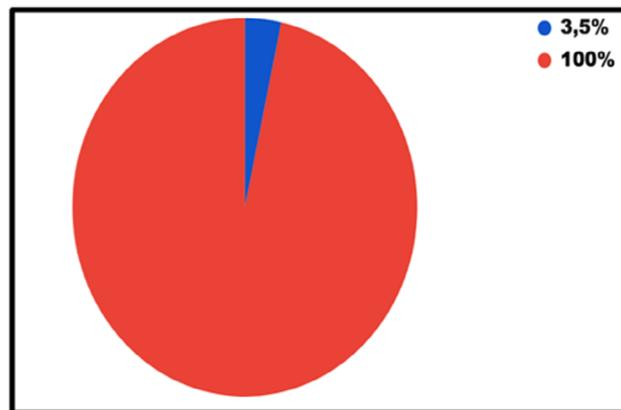


Figura 5.

Porcentaje de pacientes con sedimento no mineralizado con aumento en el grosor de la pared vesical y la presencia de contenido libre, sedimento no mineralizado con hilos de fibrina, dilatación uretral y presencia de sedimento mixto con aumento en el grosor de la pared vesical

Fuente: autores.

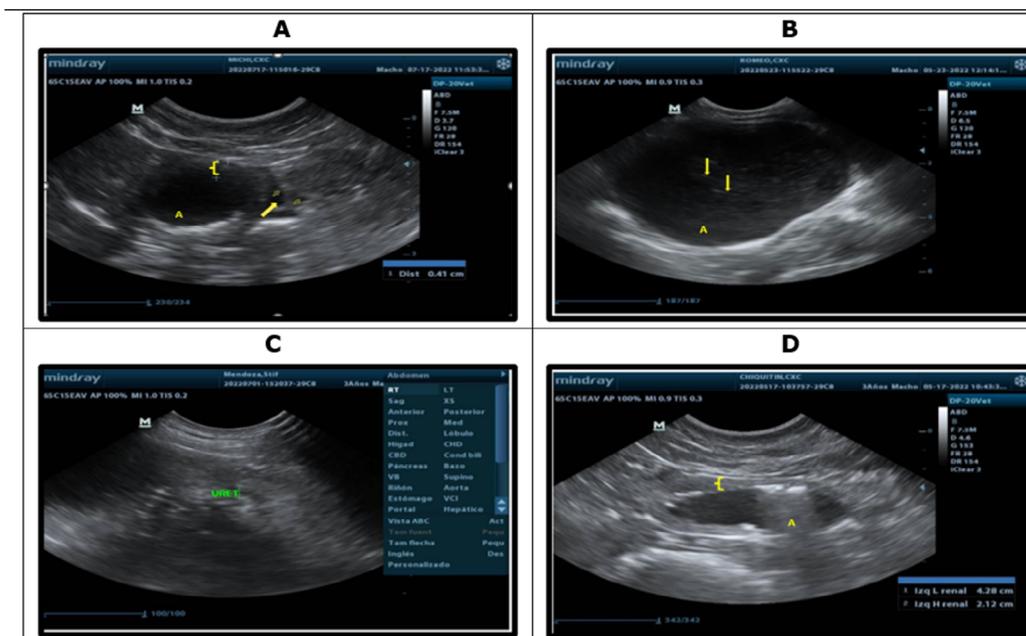


Figura 6.

Hallazgos menos comunes. **A.** Imagen ecográfica de paciente felino macho en la cual se evidencia la presencia de **sedimento no mineralizado (A)** con aumento en el grosor de la pared vesical (llave) y la presencia de **contenido libre** (flecha). **B.** Imagen ecográfica de paciente felino macho en la cual se evidencia la presencia de **sedimento no mineralizado (A)** con **hilos de fibrina** (flechas). **C.** Imagen ecográfica de paciente felino macho de 3 años en la cual se evidencia la presencia de **dilatación uretral**. **D.** Imagen ecográfica de paciente felino macho de tres años en la cual se evidencia la presencia de **sedimento mixto (A)** con aumento en el grosor de la pared vesical (llave)

Fuente: autores.

Como se evidencia en este estudio (**Figura 7**), de todos los pacientes que se les diagnosticó FLUTD mediante ecografía, dos son hembras, lo cual corrobora con la documentación que indica una mayor presencia en machos. Esto puede atribuirse al tracto urinario inferior conformado por el extremo caudal de cada uréter, la vejiga urinaria y la uretra, generando una variabilidad entre géneros. El macho, al tener anatómicamente la uretra más larga, presentando dos zonas de estrechamiento (la uretra prostática y pos prostática o peeneana) en comparación con las hembras, los hace más propensos a obstruirse y a

sufrir este tipo lesiones (Rodríguez, 2022; Finstad *et al.*, 2023). Sumado a esto, Sáenz (2021) afirma que algunos estudios han sugerido que las hormonas sexuales pueden desempeñar un papel en la predisposición a FLUTD, ya que la testosterona, presente en los gatos machos, podría contribuir a la formación de cálculos o cristales en la orina y modificar la estructura de la pared de la vejiga. En este caso, la ecografía es útil al revelar cambios estructurales y el contenido de la vejiga urinaria, además del flujo sanguíneo y la morfología renal en el caso de la eco Doppler (Cely *et al.*, 2016; Evangelista, *et al.*, 2023).

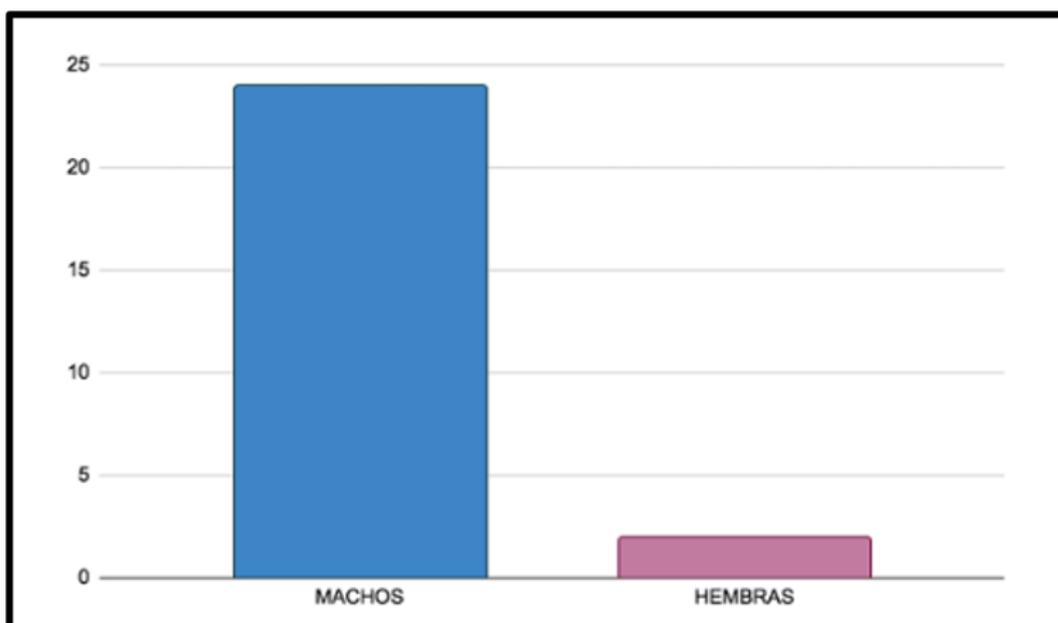


Figura 7. Cantidad de machos y hembras con FLUTD

Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

El 100% de los casos de FLUT presentan engrosamiento de la pared de la vejiga urinaria y en más del 50% encontramos sedimento, estos son hallazgos que se observan en la ecografía abdominal. En ese sentido, podemos decir que el FLUTD es una enfermedad que se diagnostica con la ayuda de los análisis ecográficos es tratable y detectable mediante todos los estudios necesarios.

Por otro lado, la causa principal del FLUTD es la cistitis idiopática y, a su vez, esta se encuentra relacionada con factores de estrés. No podemos saber de manera temprana cuándo el animal está padeciendo estrés, pero sí es posible crear e implementar técnicas de manejo a favor del bienestar animal, evitando así situaciones incómodas, dolorosas o traumáticas.

Además, todos los tutores deben orientarse e investigar lo relacionado con la

mascota que desean adquirir, como alimentación, etología y las enfermedades más comunes que se puedan presentar en ellos, para prevenirlas o controlarlas a tiempo, y así brindar toda la atención que requieren.

Por último, las visitas periódicas al médico veterinario son igual de importantes en los animales que en los humanos, ya que con estas se lleva un control de salud de las mascotas y permite estar al tanto de cualquier anomalía que pueda estar presentando, evitando así posibles complicaciones.

Por ello, se recomienda el seguimiento y la capacitación médica en la atención de una obstrucción en pacientes felinos que pueden generar urgencia o daño renal, si no es tratada a tiempo o si no es resuelta en su totalidad.

REFERENCIAS

Ballesteros, T. (2023). *Reporte de caso y actualización terapéutica del FLUTD en la clínica veterinaria mevet*. [Trabajo de grado]. Unilasallista Corporación Universitaria. <http://hdl.handle.net/10567/3484>

Cely, D. M. y Reyes, N. A. (2016). *Reporte de caso clínico: enfermedad del trato urinario inferior felino (FLUTD)*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA. <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/585/1/articuloreportedecasoclinico.pdf>

- Espinosa, S. C. L. (2017). *Estudio de caso de un felino macho con FLUTD. Enfermedad del Tracto Urinario Inferior Felino*. Corporación Universitaria Lasallista <http://hdl.handle.net/10567/2130>
- Evangelista, G., Dornelas, L., Cintra, C., Valente, F., Favarato, S., Fonseca, L. y Reis E. (2023). Evaluación de la enfermedad del tracto urinario inferior felino: ecografía Doppler de los riñones. *Revista de Medicina y Cirugía Felina*, 25(1). <https://doi.org/10.1177/1098612X221145477>
- Fernández, S. (2021). *Revisión de los aspectos más importantes de la enfermedad del tracto urinario inferior felino y obstrucción uretral*. [Trabajo de grado]. Universidad Nacional de Río Negro. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/7502>
- Finstad, J.B., Rozanski, E.A. y Cooper, E.S. (2023). Asociación entre la pandemia global de COVID-19 y la prevalencia de gatos que presentan obstrucción uretral en dos salas de urgencias veterinarias universitarias. *Revista de Medicina y Cirugía Felina*, 25(2). <https://doi.org/10.1177/1098612X221149377>
- García, D. y Jaramillo, H. J. (2021). *Reporte de caso clínico en el manejo de microlitiasis en felino macho que derivó en obstrucción del tracto urinario (FLUTD)*. [Trabajo de grado] Unilasallista Corporación Universitaria. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/3139>
- Gomes, V., Ariza, P., Queiroz, L., Hernández, V., e Fioravanti, M. (2019). Diagnóstico da urolitíase em felinos. *Enciclopédia Biosfera*, 16(29), 669–687. https://doi.org/10.18677/encibio_2019a54
- Handl, M. S., Thatcher, C. D., Remillard, R. L., Roudebush, P., Morris, Jr., M. L. y Novotny, B. J. (2000). *Nutrición clínica en pequeños animales*. [Capítulo 21]. Inter-Médica.
- Houston, D. M., y Elliott, D. A. (2010). *Enciclopedia de la nutrición clínica felina: Tratamiento nutricional de las patologías del tracto urinario inferior en el gato*. Royal Canin. <https://vetacademy.royalcanin.es/wp-content/uploads/2019/11/Cap-8-Tratamiento-nutricional-de-las-patologias-del-tracto-urinario-inferior-en-el-gato.pdf>
- Kaul, E., Hartmann, K., Reese, S., and Dorsch, R. (2020). Recurrence rate and long-term course of cats with feline lower urinary tract disease. *Feline Med Surg.*, 22(6), 544-556. [10.1177/1098612X19862887](https://doi.org/10.1177/1098612X19862887).
- Marroquí, D., Salcedo, M., y Granados, J. A. (s.f). *Revisión de Literatura Generalidades de la enfermedad del tracto urinario inferior felina*. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medicina Veterinaria y Zootecnia, Villavicencio <http://hdl.handle.net/20.500.12494/35921>
- Martínez, C. (2015). *Ayuda paraclínica de exámenes complementarios por imagen para el diagnóstico de la cistitis idiopática felina*. [Trabajo de grado]. Universidad de La Salle. <https://ciencia.unilasalle.edu.co/handle/10567/10567>

cia.lasalle.edu.co/medicina_veterinaria/54

Pérez, Y. M. (2020). *Uretrostomía en un felino macho por obstrucción uretral recurrente*. [Trabajo de Grado Pregrado]. Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/902>

Piyarungsri, K., Tangtrongsup, S., Thitaram, N., Lekklar, T., and Kittinuntasilp, A. (2020). *Prevalence and risk factors of feline lower urinary tract disease in Chiang Mai, Thailand*. PubMed Central. doi: [10.1038/s41598-019-56968-w](https://doi.org/10.1038/s41598-019-56968-w)

Rodríguez, N., (2022). *Manejo de la urolitiasis obstructiva en felinos machos*. [Trabajo de grado]. Universidad de ciencias aplicadas y ambientales (UDCA). Facultad de ciencias agropecuarias. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/4499>

Reinoso, J. A. V. (2018). *Cistitis idiopática: Evaluación del tratamiento médico y el tratamiento quirúrgico de un paciente felino macho con FLUTD*. [Trabajo de grado]. Universidad San Francisco de Quito USFQ. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7941/1/141140.pdf>

Sáenz, M. (2021). *Enfermedad del tracto urinario inferior felino crónico no obstructivo: Reporte de caso*. [Trabajo de grado]. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/4338>

Segev, G., Livne, H., Ranen, E., and Lavy, E. (2011). Urethral obstruction in cats: Predisposing factors, clinical, clinicopathological characteristics and prognosis. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 13(2), 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2010.10.006>

Seo, S., Na, H., Choi, S., Choi, H., Lee, Y., and Lee, K. (2021). Ultrasonographic and clinical findings in cats with feline lower urinary tract disease. *Journal of Veterinary Clinics*, 38(2), 63–68. <https://doi.org/10.17555/jvc.2021.04.38.2.63>

Tabar, M. D., and Planellas, M. (2010). Enfermedades del tracto urinario inferior felino. In O. Cortadellas (Ed.), *Manual de nefrología y urología canina y felina* (pp. 221-238). Zaragoza: Servet editorial - Grupo Asís Biomedica S.L. https://issuu.com/grupoasis/docs/manual_nefrologia.issuu



Licencia de Creative Commons

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Fecha de recibido: 01-08-2023
Fecha de aceptado: 10-10-2023
DOI: 10.22490/ECAPMA.7050

AVANCES Y PERSPECTIVAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE ÁRBOLES ÉLITES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN EL MUNICIPIO DE IBAGUÉ, TOLIMA

ADVANCES AND PERSPECTIVES IN THE CHARACTERIZATION OF ELITE CACAO TREES (*Theobroma cacao* L.) FOR THE CONSERVATION OF BIODIVERSITY IN THE MUNICIPALITY OF IBAGUÉ, TOLIMA

Mady Dully Leal Jiménez

Ingeniera Agrónomo, Especialista en Gerencia de proyectos y
Candidata a Magíster en Gerencia de proyectos
Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

ORCID <https://orcid.org/0009-0000-2982-3447>
mady.leal@unad.edu.co

Oscar Hernando Torres Arango

Ingeniero Forestal, Especialista en Ingeniería de regadíos, Magíster en educación,
Doctor en Desarrollo sostenible
Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5699-0555>
oscar.torres@unad.edu.co

Citación: Leal, M. y Torres, O. (2024). Avances y perspectivas en la caracterización de árboles élités de cacao (*Theobroma cacao* L.) para la conservación de la biodiversidad en el municipio de Ibagué, Tolima. *Working Papers ECAPMA*, 8(1), 37 – 53. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.7050>

RESUMEN

Contextualización: el cacao es un cultivo valioso y versátil que ha demostrado ser beneficioso en diversos aspectos, incluyendo la lucha contra los cultivos de uso ilícito, rendimiento sostenido del producto, la reducción de la pobreza rural y la conservación de biodiversidad en las regiones.

Vacío de conocimiento: a pesar de que Ibagué, Tolima, es conocida por sus árboles de cacao con atributos únicos, la falta de conocimiento en la identificación y evaluación de estas variedades ha impulsado una revisión bibliográfica exhaustiva para abordar esta situación.

Propósito: la caracterización de árboles élites de cacao (*Theobroma cacao* L.) es fundamental para el mejoramiento genético y la obtención de variedades de cacao con características deseables, como resistencia a enfermedades, rendimiento de cosecha y calidad del grano. De modo que la caracterización implica la evaluación detallada de las diferentes características

fenotípicas y genéticas de los árboles para identificar aquellos que presentan rasgos superiores.

Es por ello por lo que el objetivo principal del trabajo titulado “Avances y Perspectivas en la caracterización de Árboles Élite de Cacao en Ibagué, Tolima”, es proporcionar a los actores del sector cacaotero de la zona el uso de descriptores para la caracterización de árboles élites de cacao, con el propósito de permitir la selección de variedades prometedoras, mejorar la calidad y el rendimiento.

Metodología: para lograr este objetivo, se hace necesario implementar una metodología basada en la revisión bibliográfica tanto de fuentes primarias como secundarias relacionadas con la caracterización de árboles élites de cacao con aroma y sabor a nivel nacional, específicamente, en la región de Ibagué, Tolima.

Palabras clave: árboles élites, aroma, cacao, calidad, caracterización, sabor

ABSTRACT

Contextualization: Cocoa is a valuable and versatile crop that has proven to be beneficial in various aspects, including combating illicit crop cultivation,

sustained product yield, rural poverty reduction, and biodiversity conservation in regions.

Knowledge Gap: Ibagué, Tolima, is known for its cocoa trees with unique attributes. However, the lack of knowledge in the identification and evaluation of these varieties has driven an exhaustive bibliographic review to address this situation.

Purpose: The characterization of elite cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) is crucial for genetic improvement and the development of cocoa varieties with desirable traits, such as disease resistance, crop yield, and grain quality. Characterization involves the detailed assessment of various phenotypic and genetic characteristics of the trees to identify those exhibiting superior traits.

The primary objective of the study titled “Advancements and Perspectives in the

Characterization of Elite Cocoa Trees in Ibagué, Tolima” is to provide stakeholders in the cocoa sector of the region with descriptors for the characterization of elite cocoa trees, aiming to enable the selection of promising varieties, enhance quality, and improve yield.

Methodology: To achieve this objective, it becomes necessary to implement a methodology based on the bibliographic review of both primary and secondary sources related to the characterization of elite cocoa trees with aroma and flavor at both the national and specifically in the Ibagué, Tolima region.

Keywords: aroma, characterization, Cocoa, elite trees, flavor, quality

1. INTRODUCCIÓN

Colombia posee potencial en diversidad genética de cacao, en especial por ser parte del centro de origen de la especie y también por el desarrollo histórico del cultivo. Es por ello por lo que el cacao desempeña un papel fundamental en nuestro país, en términos económicos, culturales, ambientales y de diversificación. Ibagué, la capital del Departamento del Tolima, se encuentra en una región montañosa de los Andes colombianos, rodeada por colinas y montañas, y atravesada por varios ríos como el río Combeima. Su altitud varía desde aproximada-

mente 1,200 metros sobre el nivel del mar en el centro de la ciudad hasta altitudes más elevadas en sus alrededores. Los climas subtropicales de tierras altas, junto con las temperaturas moderadas durante todo el año, con un promedio de alrededor de 18-20°C, hacen que esta región sea favorable en la parte de diversidad agrícola. Además, la región es conocida por sus cultivos de café, caña de azúcar, plátanos y otros productos agrícolas.

Con respecto al cultivo de cacao, se han identificado árboles con características únicas en aroma y sabor en Ibagué, con-

virtiéndolos en variedades élites altamente valorados en la industria chocolatera.

Este estudio se enmarca en el campo de la Gestión y Manejo Ambiental, ofreciendo sugerencias técnicas y de gestión para abordar cuestiones medioambientales. La descripción detallada de estos árboles es esencial para la identificación y selección de variantes con cualidades sensoriales destacadas y atributos altamente deseados.

Argüello (1996) destaca los esfuerzos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) en la identificación de opciones superiores de producción en el ámbito del cacao, incluyendo una meticulosa selección de árboles individuales designados como “Árboles Elite”. Dado que estos árboles han dado origen a lo que se conoce como clones, que consisten en células genéticamente idénticas y que se reproducen asexualmente a partir de un mismo ancestro (Argüello, 1996).

A pesar de la relevancia de la caracterización de los árboles elites de cacao en Ibagué, Tolima, existe un vacío de conocimiento en cuanto a su identificación y evaluación, especialmente entre los productores y técnicos de la zona. Por lo tanto, resulta esencial llevar a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva para recopilar la información y contribuir al conocimiento existente en este campo de estudio.

El presente estudio de investigación ha establecido objetivos específicos organizados en distintas categorías: en primer lugar, la categoría “Identificación de árboles élites” se enfoca en identificar y ubicar

aquellos árboles de cacao que se destacan debido a su rendimiento sobresaliente, la calidad del cacao que producen o su capacidad para resistir factores adversos. Por otro lado, la segunda categoría denominada “Caracterización morfológica”, ha llevado a cabo un análisis detallado de las características físicas y morfológicas de los árboles élites, incluyendo aspectos como el tamaño, la forma de las hojas y la altura, con el objetivo de comprender cómo estas características se relacionan con su productividad y su resistencia a desafíos.

La tercera categoría, “Evaluación agronómica”, ha involucrado un análisis exhaustivo de factores agronómicos directamente vinculados con el cultivo y manejo de los árboles élites. Se ha estudiado cómo estos árboles responden a diferentes condiciones de suelo, clima, fertilización y prácticas de manejo, contribuyendo así a una optimización de sus resultados en términos de producción. Finalmente, la cuarta categoría, “Evaluación de calidad del cacao”, se ha enfocado en examinar las características del cacao que es producido por los árboles élites, incluyendo aspectos como el sabor, el aroma, el contenido de grasa y otros factores que influyen en la calidad del producto final, es decir, el cacao procesado.

En síntesis, este estudio de investigación ha establecido un conjunto de objetivos específicos en distintas categorías, con el propósito de comprender mejor las cualidades excepcionales de los árboles de cacao élites y su contribución al ámbito cacaotero en términos de rendimiento, ca-

racterísticas morfológicas, aspectos agronómicos y calidad del cacao producido.

En general, este documento tiene como objetivo central mejorar la eficiencia y la calidad de la producción de cacao al identificar árboles élitos y comprender cómo sus características morfológicas, agronó-

micas y de calidad se relacionan con su desempeño. Los hallazgos de cada categoría se integrarán para desarrollar estrategias de selección y manejo de árboles de cacao que permitan a los productores optimizar sus cultivos y mejorar la calidad de su producto final.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este estudio consistió en una revisión bibliográfica exhaustiva de fuentes primarias y secundarias relacionadas con la caracterización de árboles élitos de cacao con aroma y sabor, tanto a nivel nacional y específicamente en la región de Ibagué, Tolima.

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda sistemática en bases de datos científicas, utilizando palabras clave re-

levantes como “cacao”, “caracterización”, “árboles élitos”, “aroma” y “sabor”. Para ello, se seleccionaron artículos científicos, libros y tesis que abordaban específicamente la caracterización de árboles de cacao con características sensoriales destacadas.

La ruta utilizada para la selección de los textos y artículos se describen en el flujo-grama de la Figura 1.

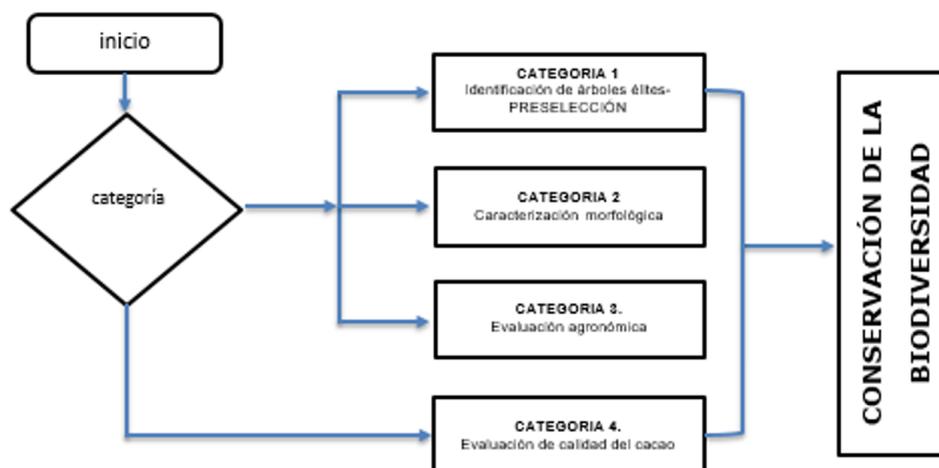


Figura 1. Flujograma selección de textos

Fuente: autores (2023)

La información recopilada se organizó y sintetizó de manera clara y coherente, destacando los hallazgos más relevantes y estableciendo conexiones entre los diferentes estudios revisados. A su vez, se identificaron patrones y tendencias comunes en la caracterización de árboles elites de cacao en la región de Ibagué, Tolima.

Importancia de la caracterización de árboles elites de cacao (*Theobroma cacao* L.) para la conservación de la biodiversidad

La caracterización de árboles elites de cacao (*Theobroma cacao* L.) desempeña un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad por varias razones significativas.

En primer lugar, contribuye a la preservación de variedades genéticas únicas. Dado que los árboles elites representan ejemplares individuales con características sobresalientes en términos de rendimiento, calidad del cacao o resistencia a factores adversos, al estudiar y caracterizar estas variedades únicas, se está contribuyendo a la preservación de la diversidad genética del cacao. La biodiversidad genética es esencial para asegurar la adaptación de las plantas a cambios ambientales, enfermedades y plagas, lo que a su vez garantiza la resiliencia del cultivo en un contexto de cambios climáticos y desafíos biológicos.

Además, la identificación y conservación de árboles elites de cacao nativo puede contribuir a la recuperación y preserva-

ción de especies autóctonas en peligro de extinción. Así, es necesario tener presente que el cacao es originario de las regiones tropicales de América y, al enfocarse en las variedades nativas, se puede ayudar a mantener los ecosistemas originales y las especies que están adaptadas a condiciones específicas de la región.

A su vez, la caracterización de árboles elites también está relacionada con la búsqueda de variedades que puedan ofrecer altos rendimientos y calidad de cacao. Esto puede llevar a la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes, reduciendo la necesidad de expansión de áreas de cultivo y minimizando la presión sobre ecosistemas naturales.

Por otra parte, la inclusión de árboles elites en sistemas agroforestales puede promover la biodiversidad en entornos de cultivo. Al plantar variedades de cacao excepcionales junto con otras plantas nativas, se puede crear un hábitat más diverso que favorezca la presencia de insectos benéficos, polinizadores y otras formas de vida, lo que contribuye al equilibrio ecológico.

Por último, en muchos casos, las variedades de cacao y sus métodos de cultivo están entrelazados con las tradiciones y la cultura local; por ello, la identificación y conservación de árboles elites puede tener un impacto positivo en las comunidades locales, preservando prácticas culturales y agrícolas tradicionales.

Así, la caracterización de árboles elites de cacao (*Theobroma cacao* L.) es crucial para la conservación de la biodiversidad debido a los siguientes motivos:

Preservación de la diversidad genética: la biodiversidad genética es esencial para asegurar la adaptación y la supervivencia de las especies en entornos cambiantes. Los árboles élitos representan variaciones genéticas únicas y valiosas que podrían albergar genes clave para la resistencia a enfermedades, la tolerancia a estrés ambiental y otras cualidades deseables; razón por la cual la caracterización de estos árboles permite identificar y preservar estas características genéticas únicas, evitando la erosión genética que podría resultar de la homogeneización del cultivo.

Promoción de prácticas de agricultura sostenible: la conservación de árboles élitos puede fomentar prácticas agrícolas más sostenibles. Al identificar variedades con altos rendimientos y resistencia a enfermedades, se puede reducir la necesidad de expansión de tierras de cultivo y la dependencia de productos químicos; esto a su vez minimiza la presión sobre hábitats naturales y contribuye a la conservación de ecosistemas.

Recuperación de especies autóctonas: al enfocarse en la caracterización de variedades de cacao nativas, se contribuye a la recuperación de especies autóctonas y la preservación de ecosistemas locales; la introducción de variedades nativas en sistemas agroforestales puede ayudar a restaurar áreas degradadas y a crear hábitats para especies en peligro de extinción.

Fomento de la biodiversidad en agroecosistemas: integrar árboles élitos en sistemas agroforestales promueve la biodiversidad en el entorno de cultivo; la diversificación de plantas en el sistema favorece la presencia de polinizadores, depredadores naturales y otros organismos beneficiosos, lo que contribuye a un equilibrio ecológico y una menor necesidad de pesticidas.

Contribución a la seguridad alimentaria: la biodiversidad es esencial para la seguridad alimentaria global; Al conservar y caracterizar árboles élitos, se pueden obtener variedades de cacao que sean más resistentes a enfermedades y factores adversos, lo que asegura una producción continua y estable de cacao, un cultivo crucial en la industria del chocolate.

Desarrollo sostenible de comunidades locales: dicha caracterización de árboles élitos puede permitir a las comunidades locales al promover prácticas agrícolas sostenibles, mantener tradiciones culturales y proporcionar oportunidades económicas relacionadas con la preservación y el uso sostenible de los recursos naturales.

En la Tabla 1 se realiza una revisión detallada de los libros, revistas científicas, técnicas y demás documentos que proporcionan las pautas necesarias para la caracterización de árboles “elite” de cacao.

| Tabla 1. Revisión Bibliográfica

Título del documento	Aporte a la investigación	Revisión bibliográfica APA
Identificación, selección y multiplicación de árboles elite o de alto rendimiento de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) con la participación de los agricultores	Aporta información crucial sobre la identificación y preselección de árboles de cacao, sirviendo como guía práctica para determinar los parámetros a revisar antes lleva a cabo la caracterización de los árboles élite	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (Corpoica) (Agrosavia). (2008). <i>Identificación, selección y multiplicación de árboles elite o de alto rendimiento de cacao (Theobroma cacao L.) con la participación de los agricultores.</i> http://hdl.handle.net/20.500.12324/13262
Evaluación, introducción y multiplicación de árboles elite de cacao como estrategia de productividad para el nororiente colombiano (informe final)	Aporta los fundamentos necesarios para realizar una preselección de árboles elites y permite aprovechar la experiencia adquirida en el nororiente colombiano, en relación con el proceso de caracterización en Ibagué, Tolima	Arguello, O., Mejía, L., Contreras, N., y Toloza, J. (1999). <i>Evaluación, introducción y multiplicación de árboles elite de cacao como estrategia de productividad para el nororiente colombiano (informe final).</i> http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4144/2/20067181339_Multiplicacion%20de%20arboles%20elite%20de%20cacao.pdf .
Caracterización morfológica de árboles de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en el municipio de Tumaco, Nariño	Permite el establecimiento paso a paso para la selección y caracterización de árboles elites. Además, proporciona los descriptores morfológicos necesarios Recopila la información de varios investigadores, donde se tienen en cuenta las recomendaciones de autores como Pound (1934), que señala que para determinar adecuadamente los caracteres en cacao es necesario un mínimo de 30 frutos en la muestra. Asimismo, Enríquez (1997) señala que para la descripción morfológica del cacao se deben emplear órganos de la planta que están menos influenciados por el ambiente, como las flores, frutos y semillas	William, B. (2011). <i>Caracterización morfológica de árboles de cacao (Theobroma cacao L.) en el municipio de Tumaco Nariño.</i> [Tesis de maestría]. Universidad de Nariño. https://sired.udenar.edu.co/2953/1/86414.pdf

<p>Caracterización morfológica de selecciones elite, locales e introducidas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). Valle del río Apurímac y Ene - VRAE</p>	<p>El documento resulta relevante para la revisión, ya que aporó las tablas con los descriptores morfológicos para la caracterización de semilla, frutos y flores, ofreciendo una guía detallada y estructurada para llevar a cabo la caracterización de los árboles de cacao.</p>	<p>Alarcón, A. (2009) Caracterización morfológica de selecciones elite, locales e introducidas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). Valle del río Apurímac Y Ene-VRAE. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.</p>
<p>Compañía Nacional de Chocolates S.A.S (Fomento Cacaotero)</p>	<p>Esta cartilla es recurso fundamental, ya que es el protocolo morfológico que incluye de manera específica y gráfica los descriptores necesarios para una caracterización precisa. Representa la recopilación de años de estudio realizados por la Nacional de Chocolates.</p>	<p>Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2018). <i>Protocolo para la caracterización morfológica de árboles elite de cacao</i>. https://www.chocolates.com.co/fomento-cacaotero/</p>
<p>Caracterización de árboles superiores de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE</p>	<p>El estudio se centró en evaluar 103 genotipos bajo condiciones de campo y laboratorio, los cuales fueron previamente seleccionados en los campos experimentales del CATIE por su notable comportamiento en producción y resistencia a enfermedades. Se incluyeron como testigos clones internacionales y genotipos susceptibles</p>	<p>Arciniegas, A. (2005). <i>Caracterización de árboles superiores de cacao (Theobroma cacao L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del Catie, Catie Turrialba, Costa Rica</i>. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4571</p>
<p>Guía técnica para el establecimiento de bancos de germoplasma y recolección de materiales sobresalientes en parcelas fase III</p>	<p>Es una guía práctica permite evaluar las variables al momento de propagar los árboles, previamente caracterizados. Fedecacao, mediante las guías técnicas de 2002 y 2015, ha facilitado la revisar de los procesos para establecer los materiales, realizar la evaluación en campo o sitio y lograr una propagación con éxito.</p>	<p>Federación Nacional de Cacaoteros, Fedecacao. (2015). <i>Guía Técnica para el cultivo de cacao</i>. Federación Nacional de Cacaoteros; Fondo Nacional del Cacao; Sistema General de Regalías.</p>

Informe Final de Consultoría "Catálogo de Cultivares de Cacao" Agosto, 2009

Documento dinámico, para consultar el catálogo de cultivares de cacao, con imágenes y gráficas que permitan una mayor comprensión.

García L, (2009). *Informe Final de Consultoría "Catálogo de Cultivares de Cacao"* Ministerio de Agricultura Perú.

Enlace: <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/catalogo-cultivares-cacao.pdf>

Fuente: autores con base en literatura científica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras un análisis exhaustivo y una revisión bibliográfica detallada, se recopila la información pertinente. Inicialmente, es crucial destacar que en la zona se han llevado a cabo estudios técnicos que han identificado árboles con características morfológicas y organolépticas de alta calidad.

Por ejemplo, el estudio realizado por CENICAFÉ en 2010 se enfocó en la evaluación de variedades de cacao de diferentes regiones de Colombia, incluyendo Ibagué. En dicho estudio, se observaron notas florales, frutales y especiadas en el aroma del cacao de Ibagué, mientras que en cuanto al sabor, se detectaron matices a frutos secos, cítricos y especias.

Por otro lado, la Universidad del Tolima llevó a cabo una evaluación de las características agronómicas y sensoriales de varios clones de cacao en la región de Ibagué. Se encontraron diferencias significativas en términos de rendimiento, calidad del grano y características sensoriales entre los clones evaluados.

Adicionalmente, se identificó un proyecto de la Universidad de Ibagué y Agrosavia en 2019, cuyo propósito era caracterizar los árboles de cacao criollo en la región y evaluar su potencial para la producción de chocolate fino y de aroma.

En el marco del presente trabajo de investigación, se han establecido los siguientes objetivos específicos o categorías (Tabla 2):

Categoría 1. Identificación de árboles éliticos: se busca reconocer y localizar los árboles de cacao que exhiben características sobresalientes en términos de rendimiento, calidad del cacao o resistencia a factores adversos.

Categoría 2. Caracterización morfológica: se pretende estudiar las características físicas y morfológicas de los árboles éliticos, como tamaño, forma de las hojas, altura, entre otros, para comprender cómo estas características se relacionan con sus rendimientos y resistencia.

Categoría 3. Evaluación agronómica: consiste en analizar factores agronómicos vinculados al manejo y cultivo de los árboles élitos, como su respuesta a diferentes condiciones de suelo, clima, fertilización y prácticas de manejo.

Categoría 4. Evaluación de calidad del cacao: se busca estudiar las características del cacao producido por los árboles élitos en términos de sabor, aroma, contenido de grasa y otros factores que influyen en la calidad del producto final.

Figura 2. Color del fruto

Color del fruto inmaduro

Se eligen al azar 10 frutos de 4 meses de edad, directamente en campo se determina el color de cada uno. Las coloraciones están relacionadas con la presencia de antocianinas en los frutos.



Color del fruto maduro

Deben tener plena madurez fisiológica y se clasifican de acuerdo a la siguiente escala:



Fuente: Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2018).

Figura 3. Forma del ápice del fruto

Forma del ápice del fruto

Se determina de manera visual usando la figura 4 y se clasifica de acuerdo a la siguiente escala:



Fuente: Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2018).

Figura 4. Forma del fruto

Forma del fruto

Se determina de forma visual, teniendo en cuenta la **figura 6**.



1. Elíptico 2. Oblongo 3. Abovado 4. Ovado 5. Orbicular 6. Oblado

Fuente: Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2018)

Figura 5. Selección de frutos por cada árbol



Fuente: LEAL (2005)

Figura 6. Color de los cotiledones

Color predominante de los cotiledones

Se hace una evaluación visual de las semillas y se clasifica de acuerdo a la siguiente escala:



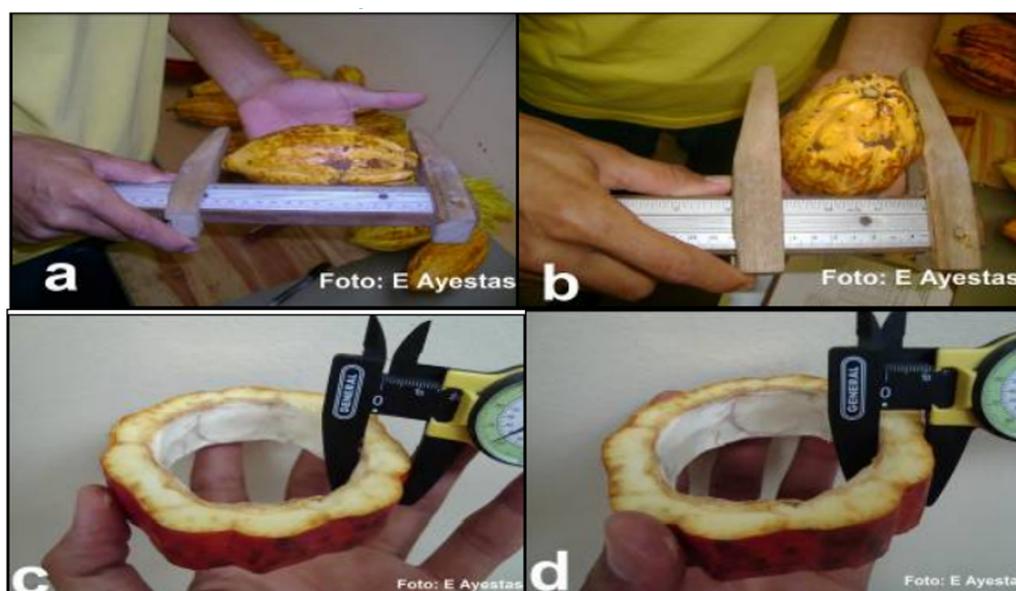
1. Blanco cremoso

2. Violeta

3. Morado

Fuente: Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2018).

Figura 7. Caracterización morfológica del fruto: a. Largo del fruto, b. Diámetro del fruto, c. Espesor del caballete, d. Profundidad del surco



Fuente: LEAL (2005).

| Tabla 2. Categorías para la caracterización

Categoría	Concepto e importancia	Resultado de la revisión bibliográfica
<p>Categoría 1 Identificación de árboles élités, preselección</p>	<p>La selección y caracterización de árboles elite en fincas de productores es fundamental para obtener material local de calidad que contribuya a mejorar las plantaciones. (Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (CORPOICA) (Agrosavia). (2008)</p>	<p>Los árboles de alto rendimiento son materiales de cacao mayores de 15 años, ubicados en fincas de agricultores, que destacan por su calidad de producción, sanidad, así como por el buen tamaño de mazorcas y almendra.</p> <p>Para la selección de árboles superiores en las fincas de familias cacaoteras, especialmente en Ibagué, es esencial implementar durante el proceso de identificación los parámetros establecidos por Leal (2005). Además, es necesario que el agricultor reciba capacitación y acompañamiento por parte de la entidad responsable de la caracterización, tanto en la evaluación agronómica como en la organoléptica.</p> <p>Entre los aspectos a considerar para identificar un árbol superior de cacao se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El árbol debe ser vigoroso y no presentar signos de debilidad ni enfermedades en su tronco y ramas • Debe producir una mayor cantidad de mazorcas durante la mayor parte del año. Las mazorcas que produce deben ser resistentes a las enfermedades como la monilia y la mazorca negra ^{3/4} • Deben presentar una mayor cantidad de semilla en sus mazorcas, las cuales deben ser de tamaño mediano a grande y con buen peso

<p>Categoría 2</p> <p>Caracterización morfológica</p>	<p>La caracterización morfológica de una colección de germoplasma implica la descripción y evaluación de las variaciones presentes en una especie. Esto se logra identificando y analizando características morfológicas y fenológicas específicas y heredables en cada acceso dentro de la especie</p> <p>Para llevar a cabo una caracterización efectiva, se pueden utilizar caracteres morfológicos de dos tipos: dominantes y recesivos. El IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources) ha seleccionado 65 descriptores morfológicos para el cacao, los cuales se han modificado a lo largo del tiempo según el propósito de la investigación</p> <p>A lo largo del tiempo, estas listas de descriptores se han modificado según el propósito de la investigación</p>	<p>Descriptores morfológicos Se explican algunos de los descriptores morfológicos más utilizados, pero se dejan las fuentes bibliográficas, dependiendo de la necesidad y enfoque del estudio o caracterización</p> <p>a. Arquitectura de la planta Se evalúa el ángulo intermedio que se forma entre las ramificaciones del árbol, con respecto a un eje central hipotético clasificándolo en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento erecto • Crecimiento intermedio • Crecimiento penduloso <p>b. Descriptores de flores Para garantizar este factor, un día antes de la medición se entuban los botones forales en horas de la tarde y se evalúan los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Color del pedicelo • Antocianina en la lígula del pétalo • Antocianina en el filamento estaminal • Antocianina en los estaminodios <p>Antocianina en la parte superior del ovario</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de óvulos por ovario <p>c. Descriptores de frutos Para la caracterización se deben tomar diez frutos al azar del árbol a identificar (Compañía Nacional de Chocolates S.A.S., 2018). Lo que va a permitir evaluar diferentes etapas de madurez, a fin de identificar diversas características como las siguientes:</p> <p>Color del fruto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Color del fruto inmaduro • Color del fruto maduro • Forma básica del fruto • Forma del ápice • Rugosidad de la superficie • Forma en sección longitudinal • Forma en sección transversal • Color de los cotiledones <p>Otros descriptores importantes para caracterizar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de semillas íntegras/fruto • Número de semillas vanas/fruto • Masa húmeda/100 semillas • Masa seca/100 semillas • Masa húmeda sin mucílago/100 semillas • Masa seca/fruto (Calculada) <p>Fórmula: Índice de semilla × Número de granos.</p> <p>En las imágenes se puede observar algunas características importantes para realizar en campo. (García, 2009). Adaptado de la Lista de Descriptores Morfológicos para Cacao de la Cocoa Research Unit-University of West Indians (Trinidad y Tobago) (Compañía Nacional de Chocolates S.A.S., 2018)</p>
---	---	--

<p>Categoría 3 Evaluación agronómica</p>	<p>Una buena producción de cacao depende en gran medida de las prácticas agrícolas aplicadas en cada una de las fases fenológicas del cultivo, que incluyen: (a) Fundación, (b) Mantenimiento, (c) Recuperación y (d) Rehabilitación</p> <p>Además, existen factores ecológicos como las condiciones del suelo y los factores climáticos que son críticos para el desarrollo óptimo del cacao, tales como las precipitaciones y la temperatura (Leal, 2005)</p>	<p>Para garantizar la conservación genética de los árboles élites obtenidos es necesario multiplicarlos mediante propagación vegetativa. Esta medida es crucial debido a que, en la mayoría de los casos, estos ejemplares únicos pueden desaparecer por diversas condiciones ambientales. Además, se recomienda llevar a cabo estudios de segregación para evaluar características como rendimiento, resistencia a enfermedades y compatibilidad, con el fin de ampliar la base genética de los materiales del Programa de Mejoramiento Genético (Leal, 2005)</p> <p>Asimismo, es fundamental realizar un seguimiento continuo del desarrollo de los árboles, considerando sus diferentes fases fenológicas: fundación, mantenimiento y rehabilitación. Durante este proceso, se deben recopilar datos relevantes sobre rendimiento y sanidad para una evaluación precisa</p> <p>Para el establecimiento en campo, es necesario llevar a cabo pruebas de polinización y mantener la distancia y densidad adecuadas, de acuerdo con las condiciones específicas de la zona o región donde se ubiquen los árboles (Leal, 2005)</p>
<p>Categoría 4 Evaluación de calidad del cacao</p>	<p>Colombia, junto con Ecuador, Venezuela y Perú, se destacan como un productor de cacao fino reconocido por su distinguido sabor y aroma. La International Cocoa Organization (ICCO) clasifica el grano colombiano como poseedor de un exquisito aroma y sabor, con características sensoriales únicas que se distinguen por sus notas de frutas, flores, nueces y malta, atributos que lo diferencian notablemente de los cacaos producidos en otros países (Fedecacao, 2019a)</p> <p>Para preservar y potenciar estas características distintivas, es fundamental que los cacaocultores adquieran hábitos de trabajo que promuevan la limpieza y la calidad en los procesos de producción. Esto incluye el reconocimiento del estado de madurez óptimo del fruto y la identificación precisa de los tiempos necesarios para llevar a cabo los procesos de fermentación y secado de manera adecuada. Estas prácticas son esenciales para garantizar la consistencia en la calidad del cacao colombiano y mantener su reputación como productor de cacao fino a nivel internacional</p>	<p>La evaluación de la calidad de los granos de cacao implica diversos enfoques que consideran aspectos físicos, químicos y sensoriales. Estas caracterizaciones se llevan a cabo mediante técnicas y metodologías específicas que contribuyen a definir la identidad de este producto agroalimentario. Entre estas técnicas, el análisis sensorial destaca como una metodología crucial que permite caracterizar organolépticamente los atributos de sabor y aroma presentes en las almendras de cacao. Es fundamental que este análisis sensorial sea realizado por un panel de evaluadores expertos, debidamente capacitados, para garantizar la obtención de datos válidos, precisos y consistentes.</p> <p>En Colombia, se sigue la guía técnica colombiana GTC 165 para llevar a cabo el análisis sensorial del chocolate. Este documento establece los criterios y procedimientos que deben seguirse para evaluar de manera adecuada los atributos sensoriales que caracterizan este producto; es así como el cumplimiento de estas normativas contribuye a mantener estándares de calidad uniformes y confiables en la industria del cacao y el chocolate colombianos</p>

Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

La región de Ibagué, Tolima, ha sido identificada como un área que alberga variedades de cacao con atributos únicos de aroma y sabor, convirtiéndolas en variedades élites altamente valoradas en la industria chocolatera. Sin embargo, la falta de conocimiento en la identificación y evaluación de estas variedades resalta la necesidad de realizar investigaciones y estudios en esta área.

Además, los resultados y metodologías presentados en este estudio pueden ser de gran utilidad para los actores del sector cacaotero en la región, facilitando la selección, propagación y mejora de las variedades más destacadas, lo que potencialmente podría mejorar la calidad y valor comercial del cacao producido en esta zona.

Es así como la caracterización de árboles élites de cacao no solo influye la calidad y la producción de cacao, sino que también

desempeña un papel crucial en la conservación de la biodiversidad y la promoción de sistemas agrícolas más sostenibles. Al conservar la diversidad genética y fomentar la recuperación de especies autóctonas, contribuye a la preservación a largo plazo de los ecosistemas y la salud del planeta.

Por último, la caracterización de árboles élites de cacao es de gran importancia para la conservación de la biodiversidad, ya que contribuye a la preservación de la diversidad genética, la recuperación de especies nativas, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, la mejora de la biodiversidad en agroecosistemas y la conservación cultural y comunitaria. De modo que estos esfuerzos respaldan un enfoque más holístico y sostenible en la producción de cacao y a la protección de los ecosistemas y la biodiversidad asociados.

REFERENCIAS

Alarcón, A. (2009), Caracterización morfológica de selecciones elite, locales e introducidas de cacao (*Theobroma cacao* L.). Valle del río Apurímac Y Ene-VRAE. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3889/1/TESIS%20AG826Ala.pdf>

Argüello, O., Mejía, L., Contreras, N., y Toloza, J. (1999). *Evaluación, introducción y multiplicación de árboles elite de cacao como estrategia de productividad para el noroccidente colombiano (informe final)*. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4144/2/20067181339>

[Multiplicacion%20de%20arboles%20elite%20de%20cacao.pdf.](#)

Arciniegas, A. (2005). Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del Catie, Catie Turrialba, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4571>

Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2018). Protocolo para la caracterización morfológica de árboles elite de cacao. <https://www.chocolates.com.co/fomento-cacaotero/>

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (Corpoica) (Agrosavia). (2008). Identificación, selección y multiplicación de árboles elite o de alto rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.) con la participación de los agricultores. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13262>

Garcia L,(2009). Informe Final de Consultoría “Catálogo de Cultivares de Cacao Ministerio de Agricultura Perú.

Enlace:<https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/catalogo-cultivares-cacao.pdf>

Leal, A. M. (2005). *Caracterización de árboles superiores de cacao (Theobroma cacao L.) mejoramiento genético CATIE*. Turrialba. [Tesis de grado]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costarrica.

Perea, A. M. (2013). Características de calidad del cacao de Colombia, catálogo de 26 cultivares.

Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científic. (25 de junio de 2023). Caracterización física y sensorial de 24 genotipos especiales de cacao *Theobroma cacao* L. Medellín, Colombia.

William, B. (2011). Caracterización morfológica de árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de Tumaco Nariño. [Tesis de maestría]. Universidad de Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/2953/1/86414.pdf>



Licencia de Creative Commons

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Fecha de recibido: 17/11/2023
Fecha de aceptado: 23/03/2024
DOI: 10.22490/ECAPMA.7480

DESARROLLO DE UN CULTIVO DE CILANTRO (*Coriandrum sativum*) EN UN SISTEMA AEROPÓNICO AUTOMATIZADO

DEVELOPMENT OF A CILANTRO CROP (*Coriandrum sativum*) IN AN AUTOMATED AEROPONIC SYSTEM

Yeimi Marcela Avilez Bedoya

Agrónoma

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - ECAPMA

Grupo de investigación: INYUMACIZO

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6310-7329>

Correo electrónico: ymavilezb@unadvirtual.edu.co

Francisco José Montealegre Torres

Ingeniero Agrónomo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-ECAPMA

Grupo de investigación: INYUMACIZO

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1326-7113>

Correo electrónico: francisco.montealegr@unad.edu.co

Danilo Bonilla Trujillo

Médico Veterinario y Zootecnista

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-ECAPMA

Grupo de investigación: INYUMACIZO

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6069-8039>

Correo electrónico: danilo.bonilla@unad.edu.co

Citación: Avilez, Y., Montealegre, F. y Bonilla, D. (2024). Desarrollo de un cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema aeropónico automatizado. *Working Papers ECAPMA*, 8(1), 55 – 67. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.7480>

RESUMEN

Contextualización: el cilantro (*Coriandrum sativum*) es una hierba anual de la familia de las apiáceas, conocida por sus características como: raíz pivotante, tallos rectos, hojas compuestas, flores blancas y frutos aromáticos. Su nombre científico, *Coriandrum sativum* L., proviene del griego “Koris”, que significa chinche, debido al olor del fruto inmaduro (Díaz, 2002, p. 20). India lidera como el mayor productor y consumidor mundial de cilantro, mientras que los principales países importadores son Alemania, Estados Unidos, Sri Lanka y Japón (Reliance Spot Exchange, 2011, en Arizio et al., 2011).

Vacío del conocimiento: la aeroponía es un método sin suelo donde las plantas crecen en un ambiente aéreo, destacando por su uso eficiente del agua, producción rápida, control de plagas y reducción del uso de agroquímicos. Derivada de los términos griegos “aero” (aire) y “ponos” (trabajo), es una variante de la hidroponía que utiliza soluciones nutritivas. Según la International Society for Soil-less Culture, este método implica raíces expuestas a solución nutritiva (Arano, 1990, en Dávila y Santos, 2014). Fue desarrollado inicialmente por el Dr. Franco Massantini en la Universidad de Pia (Italia), conocido por sus innovadoras “columnas de cultivo” (Durán et al., 2000).

Propósito del estudio: explorar la aeroponía como una tecnología avanzada que mejora la calidad y producción del cilantro, optimiza el uso del agua y promueve la sostenibilidad ambiental, además de ser una estrategia agrícola clave para fomentar la economía, seguridad alimentaria e investigación en diversos cultivos.

Metodología: el proyecto compara el crecimiento y productividad del cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema aeropónico automatizado y en suelo. Se emplea la observación y análisis de datos cualitativos y cuantitativos para evaluar el desarrollo de las plantas durante dos ciclos de cosecha.

Resultados y conclusiones: la aeroponía técnica innovadora facilita el cultivo del cilantro, conocido por sus propiedades medicinales y culinarias, además, permite una mayor densidad de plantas por metro cuadrado y reduce significativamente el riesgo de plagas y enfermedades, disminuyendo así el uso de productos químicos. El uso de soluciones nutritivas en la aeroponía también mejora la productividad del cultivo en comparación con métodos agrícolas tradicionales.

Palabras claves: agricultura urbana, aeroponía, automatización, soluciones nutritivas, prototipo, suelo

ABSTRACT

Contextualization: The coriander (*Coriandrum sativum*) is an annual herb of the Apiaceae family, known for its characteristics such as tap root, straight stems, compound leaves, white flowers, and aromatic fruits. Its scientific name, *Coriandrum sativum* L., comes from the Greek “Koris”, which means bug, due to the smell of the unripe fruit (Díaz, 2002, p. 20). India leads as the world’s largest producer and consumer of coriander, while the main importing countries are Germany, the United States, Sri Lanka, and Japan (Reliance Spot Exchange, 2011 cited in Arizio et al., 2011).

Knowledge gap: Aeroponics is a soilless method where plants grow in an aerial environment, standing out for its efficient use of water, rapid production, pest control and reduction in the use of agrochemicals. Derived from the Greek terms “aero” (air) and “ponos” (work), it is a variant of hydroponics that uses nutrient solutions. According to the International Society for Soil-less Culture, this method involves roots exposed to nutrient solution (Arano, 1990, cited by Dávila & Santos, 2014). It was initially developed by Dr. Franco Massantini at the University of Pia (Italy), known for his innovative “cultivation columns” (Durán, et al., 2000).

Purpose of the study: Explore Aeroponics as an advanced technology that improves the quality and production of cilantro, optimizes water use and promotes environmental sustainability, in addition to being a key agricultural strategy to promote the economy, food security and research in various crops .

Methodology: The project compares the growth and productivity of cilantro (*Coriandrum sativum*) in an automated aeroponic system and in soil. Observation and analysis of qualitative and quantitative data are used to evaluate plant development during two harvest cycles.

Results and conclusions: The innovative technical Aeroponics facilitate the cultivation of cilantro, known for its medicinal and culinary properties. It allows a greater density of plants per square meter and significantly reduces the risk of pests and diseases, thus reducing the use of chemical products. The use of nutrient solutions in Aeroponics also improves crop productivity compared to traditional agricultural methods.

Keywords: aeroponics, automation, nutritional solutions, prototype, soil, urban agriculture

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de investigación e implementación para un cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) bajo un sistema aeropónico automatizado, tiene como objetivo analizar y controlar las diferentes variables como temperatura, humedad, pH, entre otras, así como estudiar el respectivo desarrollo de los especímenes en suelo para su correspondiente comparación.

La aeroponía es una técnica avanzada y de tecnología que ha permitido cultivar plantas sin hacer uso del suelo, por lo cual ha sido llamada la agricultura sin tierra, este sistema resalta la importancia de hacer crecer las plantas en un entorno cerrado, con las raíces suspendidas en el aire y con un equipo de riego de microaspersión, el cual tiene como finalidad brindar a la misma, la solución nutritiva para su desarrollo y crecimiento. Actualmente, la agricultura tiene gran importancia en lo que se refiere a la economía de un país, debido a que gran parte de la superficie está dedicada a esta labor; desafortunadamente, los suelos poco a poco han sido objeto del mal uso humano, lo que ha traído consigo una degradación exhaustiva, que, si no es controlada, es imposible recuperar. Según Pennock et al., (2015) “el 33% de los suelos está de moderada a altamente degradado debido a la erosión, el agotamiento de nutrientes, la acidifica-

ción, la salinización, la compactación y la contaminación química” (p.8).

Lo anterior evidencia que estamos frente a un recurso natural no renovable, lo que ha impulsado la búsqueda de distintas alternativas para el cuidado de los recursos naturales. Esto es especialmente relevante en la producción y demanda de alimentos, tanto en el mercado nacional como internacional. Un ejemplo de estas alternativas es la aeroponía, que hoy en día se considera un avance significativo en la agricultura a nivel mundial.

El proyecto apunta al establecimiento de un cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) aeropónico como alternativa eficaz en la producción y rentabilidad del mismo frente a otros sistemas de siembra; además, se sustenta en una de las mejores formas para reducir costos, ya que dicho sistema permite múltiples ventajas como conservación del agua, control de plagas, enfermedades en las plantas y la supervisión de distintas variables ya mencionadas. Así, el cultivo desarrollado bajo el sistema aeropónico es una forma de obtener cosechas de forma natural y ecológica, donde parte del procedimiento es electrónico y automatizado para garantizar los factores mencionados y obtener los resultados deseados para el cultivo.

Con base en lo anterior, se pretende recolectar la información desde la germi-

nación hasta la recolección de la cosecha del proceso de cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema aeropónico automatizado. A su vez, se espera detallar el comportamiento de estas plantas frente a variables como temperatura, humedad, frecuencia de riego y soluciones nutritivas empleadas. El objetivo es determinar y comparar el crecimiento, color, bioma-

sa y el tiempo requerido para completar el ciclo productivo en el sistema aeropónico automatizado. Paralelamente, se realizará una comparación con el sistema tradicional de cultivo bajo condiciones agroecológicas locales a fin de evaluar las diferencias en los resultados obtenidos y, de acuerdo con esto, demostrar el funcionamiento del prototipo empleado para este proyecto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para el proyecto aplicado se sustenta en la observación y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, que brindan información en torno al comportamiento que tuvieron las plantas en el sistema aeropónico y del cultivo en suelo. Esto con el propósito de detallar características ejemplares durante todo el ciclo productivo de las mismas, por tanto se realizó un análisis comparativo del desarrollo y crecimiento de las plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*) en los dos sistemas de producción agrícola. El proyecto se desarrolló en la ciudad de Ibagué departamento del Tolima, ubicado en el centro-occidente de Colombia, sobre la Cordillera Central de los Andes, el clima presente en la capital es tropical, la temperatura mínima es de 18°C y la máxima es de 28°C, la altitud es de 1225 m.s.n.m. Se realizaron dos procedimientos, el primero con plantas de cilantro en suelo y el otro con plantas de cilantro bajo el sistema aeroponía, para luego recolectar la in-

formación del desarrollo de estas durante dos cosechas en ambos procesos.

Para el desarrollo de las plantas en suelo se utilizaron los siguientes materiales:

- Semilla de cilantro variedad Patimorado
- Copas de plástico
- Azadón
- Cinta métrica
- Tablas
- Tierra abonada 60
- Atomizador
- Manguera
- Fertilizante industrial CRECER 500
- Abono orgánico
- Libreta de apuntes
- Cámara fotográfica

Se realizó el procedimiento en un área de suelo de un metro cuadrado, la estruc-

tura fue hecha por tablas que tenían la medición exacta para el proceso, se hizo un drenaje para mantener la humedad adecuada y evitar encharcamientos. Posteriormente, se incorporó tierra abonada y debidamente desinfectada, se hicieron 100 hoyos con una distancia de siembra de $10 \times 10 \text{ cm/m}^2$ y una densidad de 6.89 g/m^2 , lo que quiere decir que en cada hoyo se suministraron 6 semillas para un total de 600 semillas/m^2 .

Una vez se estableció el área de suelo de un metro cuadrado, se hicieron unas aureolas con copas de plástico para colocarlas en cada hoyo, esto a fin de dar un procedimiento igual al del sistema aeropónico, además sirvió de guía para incorporar las semillas sin que estas se salieran del mismo; después de esto, se realizó un riego para mantener húmedo el suelo y permitir la germinación de las semillas.

Para el proceso del cultivo aeropónico de cilantro (*Coriandrum sativum*) en el prototipo se utilizaron los siguientes materiales:

- Semilla de cilantro variedad Patimorado
- 100 copas de plástico
- Cinta métrica
- Icopor
- Turba
- Soluciones nutritivas (elementos mayores y menores)
- Sistema aeropónico automatizado
- Libreta de apuntes
- Cámara fotográfica

Semillero

El semillero se realizó con un material orgánico llamado turba, la cual es muy utilizado en semilleros gracias a su porosidad y retención de agua, lo que permite que las plántulas tengan un adecuado anclaje radicular. Se emplearon 100 copas de plástico en las cuales se incorporó el material orgánico, para luego suministrar las 6 semillas de cilantro (*Coriandrum sativum*) en cada copa de plástico, para un total de 6.89 gr equivalente a 600 semillas; además, se adicionaron 20 copas más para garantizar la germinación de las copas requeridas para el prototipo y se suministró la misma cantidad de semillas.

Las copas de plásticos fueron puestas en una lámina de Icopor, donde se hicieron unos orificios para incorporar las copas de plástico, además este tipo de semillero permitió mantener firmes las mismas y hacer más fácil el traslado hasta el Prototipo Aeropónico.

En las dos cosechas se realizó el respectivo semillero, pero con materiales nuevos como método de asepsia, también se empleó la misma cantidad de semilla y se desarrolló el mismo procedimiento.

Cada copa tenía sus respectivos orificios para el drenaje y expuestas las raíces al momento de suministrar la solución nutritiva.

Para el análisis estadístico se utilizó la estadística descriptiva, utilizando parámetros de centralización, posición y dispersión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de productividad obtenidos en los dos sistemas de producción agrícola se presentan en la Tabla 1, donde se comparan los resultados del porcentaje de productividad.

Tabla 1. Comparación de resultados del porcentaje de productividad (suelo versus aeroponía)

Sistema	Producción obtenida de follaje verde x m2		Estimación de producción follaje verde/ha		% de productividad
Tradicional	1 cosecha	311 gr	1 cosecha	3,110 kilos	28%
	2 cosecha	813 gr	2 cosecha	8,130 kilos	74%
Aeropónico	1 cosecha	1410 gr	1 cosecha	14,100 kilos	128%
	2 cosecha	2178gr	2 cosecha	21,780 kilos	198%

Fuente: autores.

Durante el desarrollo de las plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*) bajo el sistema aeropónico y en suelo, se observaron varios aspectos importantes y diferencias significativas, clave para el éxito del desarrollo y productividad del cultivo de ci-

lantro. Por ejemplo, la aeroponía mostró un tiempo de germinación más rápido en comparación con el suelo (Figura 1), esto sucedió durante los dos ciclos de cosecha, lo cual sugiere una ventaja inicial en términos de establecimiento del cultivo.

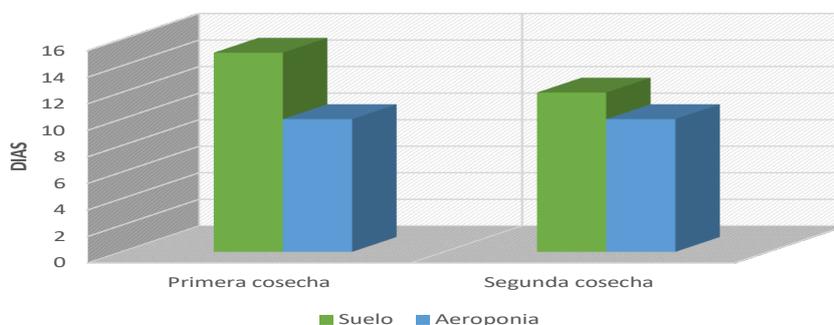


Figura 1. Comparación del tiempo de germinación (suelo versus aeroponía)

Fuente: autores.

En la Figura 2 se observar que se registró un menor porcentaje de germinación en suelo comparado con el sistema aeropónico en la primera cosecha; sin embargo, en la segunda cosecha se observó un por-

centaje mayor bajo el sistema tradicional, lo cual podría indicar que el porcentaje de semillas que germinan puede variar entre ambos sistemas.

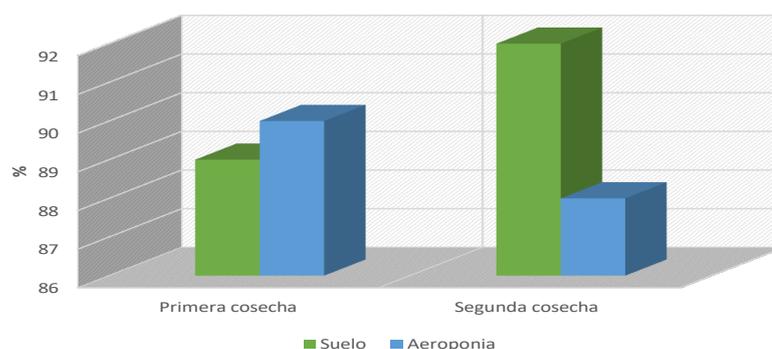


Figura 2. Comparación porcentaje de germinación (suelo versus aeroponía)
Fuente: autores.

Con respecto a la cantidad de semillas germinadas (Figura 3) el suelo puede resultar con una mayor cantidad, en comparación con la aeroponía, lo cual podría atribuirse a condiciones más favorables

en el momento del proceso germinativo. Este dato es de gran importancia, debido a que podría influir significativamente en la densidad de plantas y por ende producción en cada sistema de cultivo.

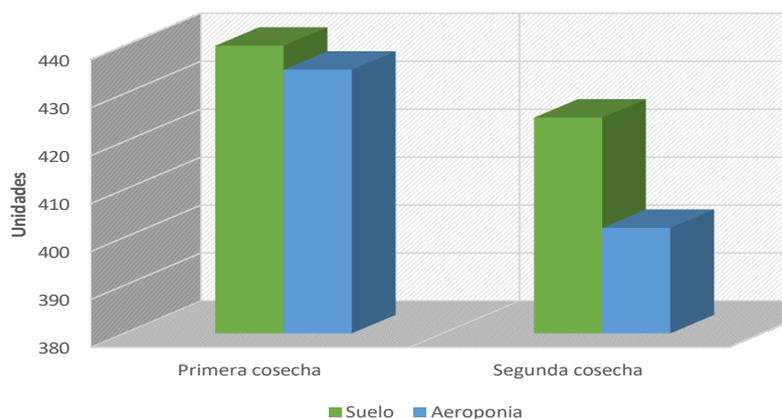


Figura 3. Comparación de cantidad de semillas germinadas (suelo versus aeroponía)
Fuente: autores.

Además, se encontró que las plantas cultivadas en aeroponía alcanzaron una altura promedio final similar o mayor que las

del suelo (Figura 4), indicando un potencial para una mayor biomasa aérea final en condiciones aeropónicas (Figura 5).

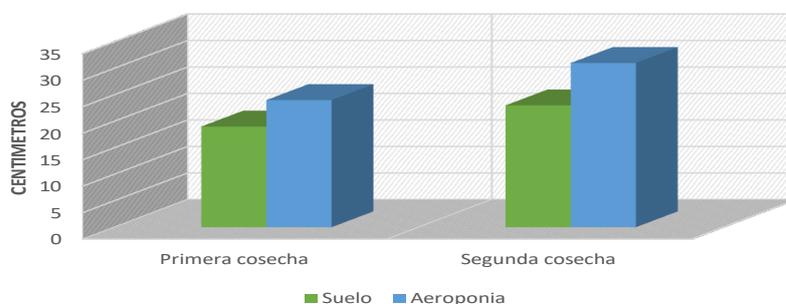


Figura 4. Comparación altura promedio final (suelo versus aeroponía)

Fuente: autores.

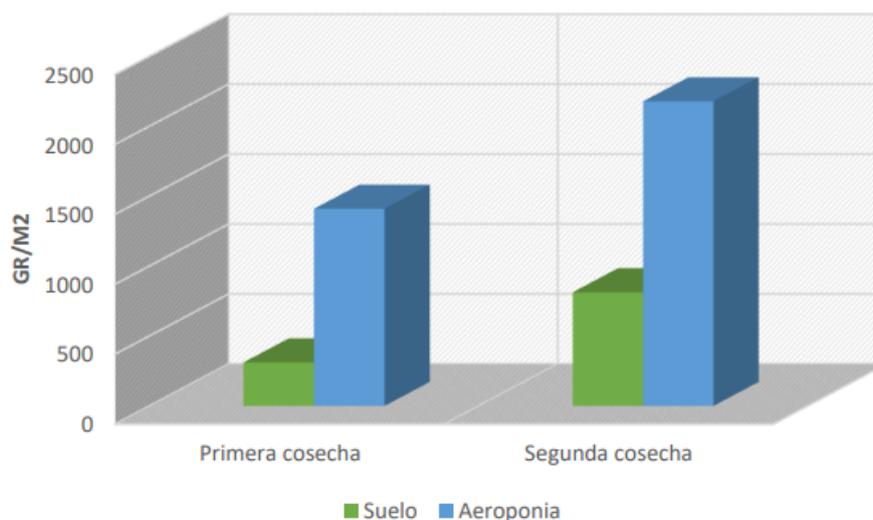


Figura 5. Comparación de biomasa aérea final (suelo versus aeroponía)

Fuente: autores.

En términos de producción, la aeroponía mostró una cantidad notable de plantas cosechadas (Figura 6) y posiblemente un rendimiento total más alto en comparación al sistema tradicional en suelo. Esto

podría estar relacionado con la capacidad de la aeroponía para proporcionar condiciones óptimas y controladas de crecimiento.

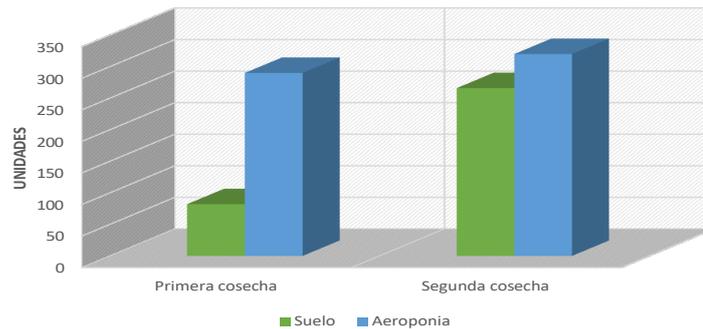


Figura 6. Comparación de cantidad de plantas cosechadas (suelo versus aeroponía)
Fuente: autores.

Además, se observó que el ciclo productivo en aeroponía es más corto en comparación con el suelo (Figura 7), lo que podría influir significativamente en la efi-

ciencia general del sistema, permitiendo ciclos más rápidos y por ende aumentando la frecuencia de producción cada año. Principio del formulario

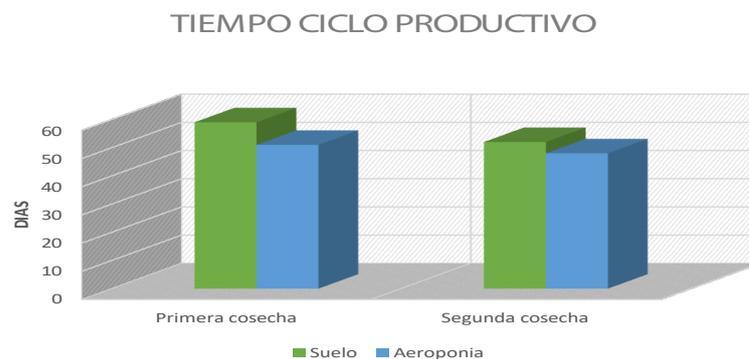


Figura 7. Comparación tiempo ciclo productivo (suelo versus aeroponía)
Fuente: autores

Dicho lo anterior, se tuvo en cuenta otros factores de gran importancia que fueron registrados, como la presencia de enfermedades y la propagación de arvenses y cambios climáticos, que fue una de las principales limitantes para el adecuado desarrollo y crecimiento de algunas plantas en los dos sistemas de producción. Así, teniendo en cuenta los resultados de

las figuras analizadas, se evidencia que la aeroponía ofrece ventajas significativas en términos de cantidad de plantas por metro cuadrado, lo que aumentó el peso en 768 gramos más. A su vez, teniendo en cuenta los cambios hechos con respecto a la iluminación en las plantas, la misma favoreció su crecimiento, pues la altura aumento 5 cm, generando un

ciclo productivo en menor tiempo y un mejor desarrollo vegetativo. Aunque bajo el sistema tradicional hubo ventajas en la porcentaje y cantidad de semillas germinadas, hay que tener en cuenta que las condiciones en suelo son diferentes y existen más riegos de adquirir enfermedades fúngicas y la parición descontrolada de plagas.

Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar los beneficios y desafíos de cada sistema y la posibilidad de elegir la mejor opción para aplicaciones agrícolas específicas, en este caso el cultivo de cilantro como objeto de estudio.

Discusión

La aeroponía se ha convertido en una técnica innovadora que permite cultivar

distintas especies hortícolas y aromáticas como el cilantro (*Coriandrum sativum*), planta considerada medicinal y de gran importancia en la culinaria. Dicha especie puede ser fundamental gracias a sus propiedades antioxidantes (Arizio et al., 2011). El cultivo bajo este sistema de agricultura permite obtener más plantas por metro cuadrado, libres de plagas y enfermedades, lo que quiere decir que el uso de químicos no va hacer necesario, además, al estar las raíces suspendidas en el aire, permite una mayor oxigenación, lo que mejora el desarrollo radicular y por ende una mayor absorción de nutrientes (Garrido, 2024); esto lleva a las plantas a un crecimiento rápido y eficiente para adquirir más cosechas por año, en comparación con un cultivo tradicional.

4. CONCLUSIONES

Se realizó la comparación entre los dos sistemas de producción agrícola, donde el cultivo bajo el sistema aeropónico automatizado presentó ventajas significativas frente al cultivo tradicional.

El sistema aeropónico permite obtener más plantas por metro cuadrado y por consiguiente una producción de follaje superior a cosechas en suelo.

A pesar del costo elevado del sistema aeropónico, se comprobó el funcionamiento del prototipo para el desarrollo de las plantas de cilantro (*Coriandrum*

sativum), así como la viabilidad que tiene el mismo en cuestión de productividad, frente a otros sistemas de producción para beneficio de la comunidad.

La oxigenación en las raíces bajo la técnica de aeroponía permite un crecimiento masivo y eficiente de las mismas, lo que lleva a obtener plantas con una altura mayor, saludables y en menos tiempo, por lo cual se pueden obtener más cosechas por año.

Se puede constatar el aprovechamiento del recurso hídrico en un 90%, que

se debe a que el riego por microaspersión que se emplea es devuelto al tanque para reutilizar nuevamente el agua y los nutrientes, además este sistema permite suministrar agua rica en nutrientes, formando microgotas adheridas a las raíces, las cuales mantienen a las plantas con el requerimiento nutricional constante y, de esta manera, obtener rendimientos mayores al del cultivo en suelo.

La aeroponía permite cultivos 100% libres de plagas y enfermedades, caso contrario en el cultivo tradicional, por consiguiente el uso de químicos no fue necesario. Este resultado comprueba lo dicho por el ingeniero Héctor Chavarría, quien según sus experimentos recientes, redujo el uso de pesticidas bajo esta técnica. Los prototipos aeropónicos se convierten en una herramienta de estudio para empresas y universidades que desean realizar experimentos e investigaciones con fines educativos o productivos para una especie agrícola.

El comportamiento de las plantas en el sistema tradicional dependen en gran medida a los cambios climáticos, los cuales juegan un papel muy importante en lo que corresponde al desarrollo y productividad de un cultivo, pues cuando existen un exceso de humedad por lluvias o temperaturas elevadas, que no pueden ser controladas por recursos económicos o por razones naturales, existe una pérdida considerable de plantas; dichos factores son causantes de propagación de plagas y enfermedades, además de alterar los procesos biológicos en las plantas, lo que lleva a obtener una baja calidad y rentabilidad del producto. Por ejemplo, las altas temperaturas promueven el desarrollo temprano de las plantas, este efecto puede ser positivo porque acelera el ciclo productivo, pero también negativo debido al desbalance de giberelinas y citoquininas en la planta, lo que promueve el punteamiento prematuro, generando hojas filiformes y una baja calidad del producto (Hernández, 2003).

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Yeimy Marcela Avilez Bedoya: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Francisco José Montealegre**

Torres: investigación, revisión y edición. **Danilo Bonilla Trujillo:** logística, revisión y edición.

REFERENCIAS

- Arizio, O., y Curioni, A. (2011). Mercado mundial y regional de coriandro (*Coriandrum sativum* L.). *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 5(2), 263-278. <file:///c:/users/marcela/onedrive/escritorio/referencias%20working/gfischer,+art%c3%adculo+7..pdf>
- Dávila, A., y Santos, G. (2014). *Diseño, construcción e instalación de un módulo aeropónico para cultivos de plántulas de papa (Solanum Tuberosum L.) en las instalaciones del fundo "La banda" Huasacache, Jacobo Hunter, Arequipa* [Tesis de grado] Ingeniería Agrónoma. Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/4385/68.0723.VZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, C. (2002). *Aplicación de algaenzims y su efecto en germinación y vigor de semilla de cilantro (Coriandrum sativum L.)* [Tesis de grado] Ingeniería Agrónoma en producción, Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1224/APLICACION%20DE%20ALGAENZIMAS%20Y%20SU%20EFECTO%20EN%20GRAMINEAS%20Y%20VIGOR%20DE%20SEMILLAS%20DE%20CILAN->
- <TRO%20%28%20coriandrum%20sativum%20l.%20%29%20CANDELA-RIO%20DIAZ%20GARCIA.pdf?se>
- Durán, J., Martínez, E., y Navas, L. (2000). Los cultivos sin suelo: de la Hidroponía a la Aeroponía. *Revista vida rural*, 40-43. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_vrural%2FVrural_2000_101_40_43.pdf
- Hernández, J. (2003). *Crecimiento y Desarrollo del Cilantro Coriandrum sativum L por Efecto del Fotoperiodo y la Temperatura y su Control con Fitorreguladores* [Tesis de doctorado]. Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/5784/1/1020148421.PDF>
- Martínez, P. (2013). *Aeroponía como método de cultivo sostenible, rentable e incluyente en Bogotá D.C Colombia* [Tesis de grado]. Administración y gestión ambiental. Universidad Piloto de Colombia. <http://repositorio.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/780/00000864.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pennock, D. y McKenzie, N. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/6473afa713d110e4e7a932e6>



Licencia de Creative Commons

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Fecha de recibido: 18/09/2023
Fecha de aceptado: 10/10/2023
DOI: 10.22490/ECAPMA.7199

VALORACIÓN DEL EFECTO DE HERBICIDAS SOBRE LAS COMUNIDADES MICROBIANAS DEL SUELO

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF HERBICIDES ON SOIL MICROBIAL POPULATIONS

Claudia Parra-Cortes

Ingeniera Agrónoma, MSc Horticultura Tropical
Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5213-6880>
claudia.parraco@unad.edu.co

Arsened Vargas Guarín

Zootecnista, Esp. en Formulación y Evaluación de Proyectos de desarrollos Social, Mg. en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.
Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6143-8271>
arsened.vargas@unad.edu.co

Guillermo Edmundo Caicedo Díaz

Ingeniero Agrónomo, Especialista en Formulación y Evaluación de Proyectos de desarrollos Social, Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2767-9434>
guillermo.caicedo@unad.edu.co

Citación: Parra-Cortés, C., Vargas, A. y Caicedo, G. (2024). Valoración del efecto de herbicidas sobre las comunidades microbianas del suelo. *Working Papers ECAPMA*, 8(1), 69–79. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.7199>

RESUMEN

Contextualización: La fertilidad del suelo está influenciada por una compleja interacción de características físicas (como la densidad, estructura y porosidad), químicas (incluyendo la actividad de las arcillas, los potenciales de óxido-reducción y la presencia de materia orgánica) y biológicas (que comprenden los microorganismos de la microflora y microfauna, así como la meso y macrofauna). Estas interacciones son fundamentales para la disponibilidad de nutrientes para las plantas. No obstante, los microorganismos desempeñan un papel crucial, ya que tienen la capacidad de modificar tanto los aspectos bioquímicos, como la producción de enzimas, lo que contribuye significativamente a su fertilidad. Por esta razón, es esencial conocer y monitorear el estado de los microorganismos en el suelo.

Vacío de conocimiento: aún no se conoce el verdadero daño que causan los herbicidas sobre la población microbiana. La degradación de la materia orgánica del suelo limita la vida de estos, por ende, la fertilidad se ve afectada.

Propósito: el objetivo de esta investigación es realizar una evaluación del efecto de la aplicación de mezcla de herbicidas sobre las poblaciones microbiana en un sistema productivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

Metodología: en este estudio se analiza el suelo de un cultivo de arroz tratado con una mezcla de herbicidas: Cletodim, Carfentrazona etilo y glifosato. Se determina actividad mediante la respiración basal microbiana en mg de CO₂ y el crecimiento microbiano en placa de Agar Papa Dextrosa (PDA).

Resultados y conclusiones: los resultados revelan que los suelos tratados con mezcla de herbicidas Cletodim, Carfentrazona etilo y glifosato disminuyen la población microbiana en placa PDA. Los suelos con aplicación de mezcla de herbicida (SH) obtuvieron en promedio 6 UFC/g de suelo y un área de crecimiento de 62 cm², en comparación con el suelo testigo sin aplicación de herbicidas (STSH), que presentó 30 UFC/g suelo y 70 cm². Además, se observó un aumento en la respiración basal de microbiana en mg de CO₂ como respuesta al herbicida SH, de 3,7 en mg C-CO₂ kg⁻¹ de suelo seco día⁻¹ a los cinco días después de la aplicación (dda) y 5,1 en mg C-CO₂ kg⁻¹ de suelo seco día⁻¹ a los 15 dda. Esto debido a que los microorganismos tratan de sintetizar las moléculas del herbicida, lo que aumenta su actividad.

Palabras clave: calidad de suelo, daño ambiental, glifosato, respiración microbiana.

ABSTRACT

Contextualization: Soil fertility is influenced by a complex interaction of physical (such as density, structure, and porosity), chemical (including soil activity), and chemical (including soil activity) characteristics. (such as density, structure and porosity), chemical (including the activity of clays, oxide-reduction potentials of clays, oxidation-reduction potentials and the presence of organic matter), and biological and biological (including microorganisms of the microflora and microfauna, as well as meso- and macrofauna, as well as meso- and macrofauna). These interactions are fundamental to the availability of plant nutrients. availability of nutrients to plants. However, microorganisms play a crucial role, as they have the ability to modify both the biochemical aspects and the biochemical aspects, such as enzyme production, which contributes significantly to plant fertility. significantly to their fertility. For this reason, it is essential to know and monitoring the status of microorganisms in the soil is essential.

Knowledge gap: the true damage caused by herbicides on the microbial population is not known, this affect the degradation of organic matter on soil, limited development of life of these organisms, therefore, fertility is affected.

Purpose: The objective of this research is to evaluate the effect of herbicide mixture

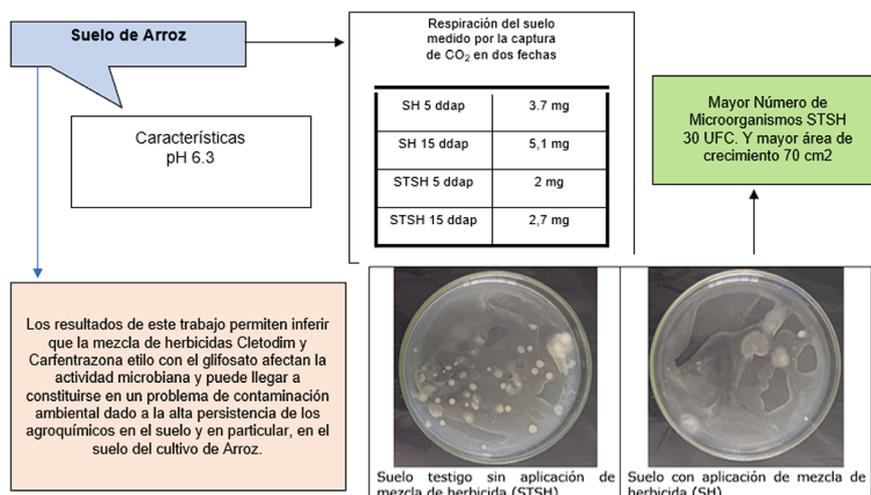
application on microbial populations in a rice (*Oryza sativa* L.) production system

Methodology: Soil treated with a mixture of herbicides Clethodim, Carfentrazone ethyl and glyphosate is analyzed, activity is determined by microbial basal respiration in mg of CO₂, microbial growth on Potato Dextrose Agar (PDA) plate.

Results and conclusions: It was determined that the soils treated with Clethodim, Carfentrazone ethyl and glyphosate herbicide mixture decrease the microbial population in PDA plate, their soils with application of herbicide mixture (SH) obtained an average of 6 CFU/g soil and an area of growth of 62 cm². Compared to the control soil without the application of herbicides (STSH) 30 CFU/g soil and 70 cm². Regarding basal microbial respiration in mg of CO₂ in response to the herbicide, respiration in the SH increased 3.7 in mg C-CO₂ kg-1dry soil day-1 at 5 days after application (DAA) and 5.1 in mg C-CO₂ kg-1dry soil day-1 at 15 daa. This is because the microorganisms try to synthesize the herbicide molecules, thus increasing their activity.

Keywords: environmental damage, glyphosate, Microbial respiration, soil quality.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia el arroz (*O. sativa*) es el tercer producto agrícola en extensión, después del café y la palma de aceite (Agronegocios, 2020). Las arvenses son muy limitantes en el cultivo de arroz, por lo que el control se realiza con herbicidas utilizando productos específicos para arvenses de hoja ancha, gramíneas y cypéáceas. Esta labor suele comenzar con la quema, seguida de la aplicación de herbicidas preemergentes y postemergentes, siendo necesarias de dos a tres aplicaciones (Bustos, 2012). Dada la magnitud de la problemática de arvenses en el cultivo de arroz y el uso continuo de las mismas moléculas, los productores suelen hacer mezclas de herbicidas para su control.

Los microorganismos del suelo son entidades que influyen en varios aspectos del suelo y cada uno desempeña diferentes actividades. Dentro de la población microbiana se tienen bacterias, actinomicetos, cianobacterias, hongos, algas, protozoarios y virus. Torsvik *et al.* (1990) afirmaron que en un gramo de suelo pueden encontrarse 10000 especies diferentes de microorganismos, muchos de ellos no conocidos, debido a que no pueden ser cultivados en medio agarizado.

Los microorganismos están involucrados en la descomposición de la materia orgánica, originan el reciclaje de nutrientes en

el suelo, así como incrementan la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Se conoce que muchos plaguicidas pueden tener una influencia perjudicial sobre los microorganismos del suelo y sus actividades, por tanto, es necesario intensificar las investigaciones sobre estos aspectos, dada la aplicación masiva de agentes químicos en la agricultura. Dichas investigaciones sostienen que los herbicidas pueden alterar el ecosistema del suelo debido al efecto directo sobre varios componentes de la microflora, como patógenos de plantas, antagonistas u hongos micorrícicos. Estos efectos pueden resultar en el incremento o reducción de la incidencia de enfermedades en plantas (Cuervo, 2007).

En diversos estudios se ha identificado que los agroquímicos disminuyen la actividad de enzimas del suelo y pueden in-

fluir en la mayoría de las reacciones bioquímicas, entre ellas: la mineralización de la M.O., la nitrificación, la desnitrificación, la amonificación, las reacciones redox y la metanogénesis (Hussain *et al.*, 2009). Entre las metodologías para determinar los efectos de los agroquímicos en la microbiología del suelo se encuentran la tasa de respiración microbiana, el crecimiento microbiano y la actividad enzimática (Ortiz *et al.*, 2013).

La actividad arrocera se caracteriza por el alto uso de agroquímicos (Chaves, *et al.*, 2013), en especial herbicidas en mezcla; no obstante, no se conoce el efecto de estas prácticas sobre la microbiota del suelo. Por tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la mezcla de herbicidas en las poblaciones microbiana en suelo de arroz.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en suelos de la finca Leidy del municipio de Campoalegre, Huila, dedicada al cultivo de arroz. Se recolectó suelo de los primeros 5 cm de profundidad, a los cinco y quince días después de la aplicación de la mezcla de herbicida según recomendación técnica de Cletodim (800 cm ha^{-1}), Carfentrazona etilo (100 cm ha^{-1}) y glifosato (3 L ha^{-1}). Las muestras se tamizan a 2 mm y posteriormente se guardan en un refrigerador a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta su procesamiento.

En cuanto a los tratamientos empleados, se consideraron suelos con aplicación de los tres herbicidas (SH) y un testigo suelo sin ninguna aplicación de la misma finca (STSH).

La estimación de la población microbiana se determinó mediante el método de Wollum, A. G., II.(2015) para el conteo de células viables vivas por siembra en superficie. Las poblaciones se obtuvieron de 1g de suelo y diluir en 9 mL^{-1} de solución salina estéril, luego, se realizaron diluciones hasta de 1×10^6 . Para el conteo se utili-

zó placas de Petri con agar papa dextrosa PDA, las cuales se incubaron durante por cuatro días a 28°C.

Las estimaciones cuantitativas de las unidades formadoras de colonias (UFC) que es una medida utilizada para estimar el número de células bacterianas o fúngicas viables por gramo de suelo, se calcularon realizando un conteo visual del número de colonias formadas en cada placa, tanto para hongos totales cultivables como para bacterias totales cultivables. Se calcula el área de crecimiento en cada caja con el programa imageJ.

Se determino la respiración basal microbiana en mg de CO₂ tomando 100 g de suelo tamizado a 2 mm Estos se introdujeron en frascos transparentes de boca ancha y se distribuyeron en el fondo, de tal manera que la capa de suelo quedara lo más fina posible. Sobre la lámina de suelo se colocó un beaker con 8 ml de NaOH (0.1 N). Luego, se sellaron herméticamente cada uno de los frascos y se colocaron en un espacio oscuro a temperatura ambiente, se hizo lectura a las 96 horas. Se llevó un testigo en el cual se colocó NaOH, pero sin suelo. Para titular, se agregó 1 ml de solución de cloruro de bario (0,05 M) y dos gotas de fenoltaleina a cada beaker. A continuación, se tituló el NaOH de cada beaker con HCl (0.5N).

La cantidad de CO₂ liberado se calculó mediante Ecuación 1:

$$\text{mg C-CO}_2 = (V_B - V_M) \times 6 \times N_{\text{HCl}} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

V_B = cantidad de ácido clorhídrico gastado para valorar el blanco (frasco sin suelo)

V_M = cantidad de ácido clorhídrico gastado para valorar la muestra del suelo

6 = peso equivalente del carbono

N_{HCl} = normalidad del ácido clorhídrico

Los resultados se expresan en mg C-CO₂ kg⁻¹suelo seco día⁻¹

Análisis estadístico

Se llevó a cabo un diseño completamente al azar en cada lote del campo, donde se tomaron submuestras y se homogenizaron para tomar un kilo de suelo por cada tratamiento empleado, lo que permitió realizar cuatro repeticiones para la lectura de cada variable.

Tratamientos empleados: suelos con aplicación de los tres herbicidas (SH) y un testigo suelo sin ninguna aplicación de la misma finca (STSH).

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis inicial de t-student para determinar la uniformidad en la distribución de los datos. Posteriormente, se procedió a realizar un Análisis de Varianza (ANAVA) con valor $p < 0,05$ mediante el sistema Infostat ver. 2020., finalizando con una prueba de Tukey para cada una de las variables Unidades Formadoras de Colonias (UFC), crecimiento de colonias y respiración microbiana en mg de CO₂ (Tabla 1).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es escasa la información encontrada sobre Cletodim y Carfentrazona etilo sobre los microorganismos del suelo, mientras que, sobre el glifosato, debido a su amplio uso, es extensa la literatura.

Tabla 1. Análisis estadístico de datos de variables de desarrollo de microorganismos del suelo después de una aplicación de herbicidas. Suelo testigo sin aplicación de mezcla de herbicida (STSH), Suelo con Aplicación de Mezcla de Herbicida (SH), Unidades Formadoras de Colonias (UFC)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales								
	Área de crecimiento (cm ²)		Conteo UFC		CO ₂ - 5 Días (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo)		CO ₂ -15 Días (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo)	
	SH	STSH	SH	STSH	SH	STSH	SH	STSH
Media	62,17	70,14	6,00	30,25	3,70	2,00	5,10	2,70
Varianza	89,34	31,44	0,67	82,92	3,72	0,84	1,17	0,36
Observaciones	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Varianza agrupada	60,39		41,79				0,76	
Diferencia hipotética de las medias	0,00		0,00		0,00		0,00	
Grados de libertad	6,00		6,00		3,00		4,00	
Estadístico t	-1,45		-5,30		1,38		3,36	
P(T<=t) una cola	0,10		0,00		0,13		0,01	
Valor crítico de t (una cola)	1,94		1,94		2,35		2,13	
P(T<=t) dos colas	0,20		0,00		0,26		0,03	
Valor crítico de t (dos colas)	2,45		2,45		3,18		2,78	

Fuente: autores.

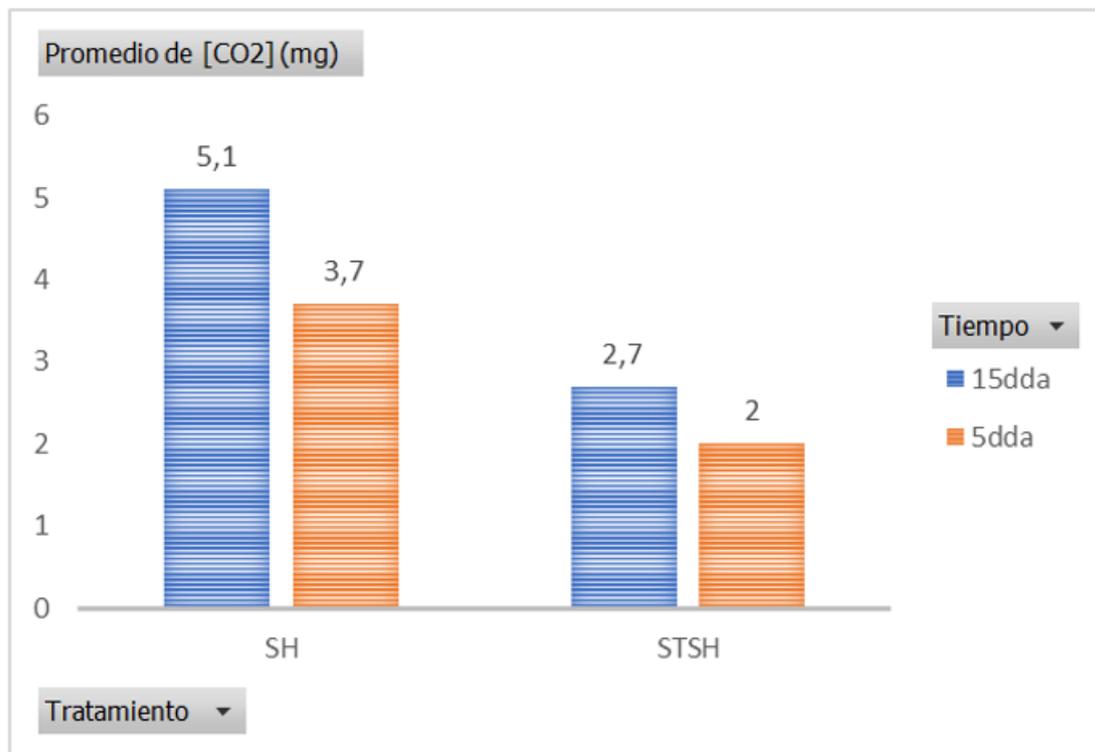
Se observa que el área de crecimiento de las bacterias cultivadas no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Sin embargo, en la cantidad de UFC se presenta una diferencia notable entre tratamientos ($p > f = 0,05$). El número de colonias que se desarrollaron en el medio de cultivo según el análisis de varianzas realizado con el sistema Infostat con un $R^2 = 0,91$, se obtuvo a partir del promedio en el cual se desarrollaron 30,2 UFC en el suelo sin tratar (STSH), en comparación con un

promedio de seis colonias obtenidas del suelo asperjado con la mezcla de herbicidas; esto quiere decir una disminución aproximada de 80% en la población de bacterias habitantes del suelo tras la aplicación de herbicidas.

La producción de CO_2 en el suelo con tratamiento de herbicidas, con relación al testigo, mostró variables entre sí, lo que coincide con la cantidad de UFC contabilizado en los medios de cultivo (Figura 1).

Figura 1. Variables respiración basal microbiana en mg de CO_2 para suelo testigo sin aplicación de mezcla de herbicida (STSH) y suelo con aplicación de mezcla de herbicida (SH)



Fuente: autores

Se observaron efectos negativos de la mezcla de herbicidas sobre la actividad de los microorganismos del suelo. La tasa

respiratoria de los microorganismos observada en los dos momentos de muestreo es menor en los suelos que no han

sido tratados con herbicidas; aunque, la estadística nos indica que no hay diferencias significativas con relación a los suelos tratados. En investigaciones realizadas con glifosato, se reporta que se afecta la población de solubilizadores de fósforo, al igual que en los hongos como *Penicillium*, *Fusarium* y en los micelios estériles, lo cual indica cierto grado de susceptibilidad. En general, los tratamientos con agroquímicos ocasionaron reducciones drásticas en los microorganismos del suelo (Chávez *et al.*, 2013).

En las cajas de Petri se observó el crecimiento de algunos microorganismos como actinomicetes, hongos filamentosos y bacterias, estas últimas fueron los organismos más abundantes en los dos suelos,

lo cual sugiere que algunas bacterias fueron tolerantes a la mezcla de herbicida.

El suelo sin herbicida mostró un crecimiento promedio en caja de Petri 70,138 cm², siendo mayor que el suelo con aplicación de herbicida que obtuvo un crecimiento promedio 62,17 cm². En cuanto al crecimiento de UFC en promedio se obtuvo 6 UFC/g de suelo con aplicación de herbicida y 30 UFC/g de suelo sin herbicida (Figura 2). Estos resultados concuerdan con lo propuesto por Druille *et al.*, (2017) quienes evaluaron el impacto de la aplicación de glifosato sobre hongos benéficos del suelo, los cuales presentaron un menor crecimiento.

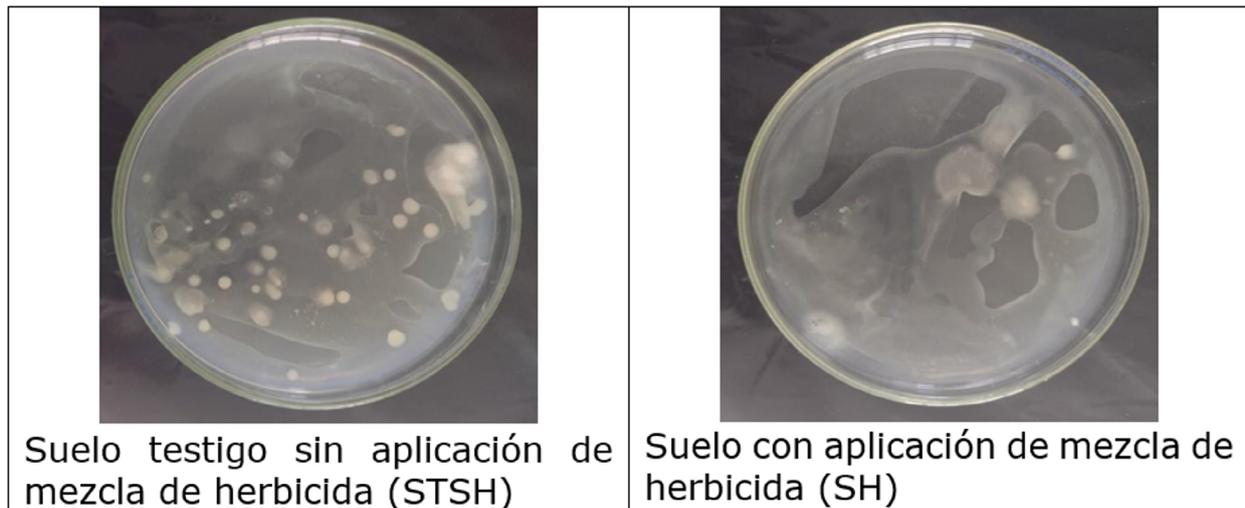


Figura 2. Crecimiento de bacterias habitantes del suelo en medio de cultivo

Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo permiten inferir que la mezcla de herbicidas Cletodim y Carfentrazona etilo con el glifosato afectan la actividad microbiana, lo cual podría constituir un problema de contaminación ambiental. Esto se debe a

la alta persistencia de los agroquímicos en el suelo, especialmente en el suelo del cultivo de arroz. Por lo tanto, se requiere la realización de estudios más amplios para comprender mejor el proceso de interacción de estos herbicidas en el suelo.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Claudia Parra-Cortes: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Arsened Vargas Guarín:** inves-

tigación, revisión y edición. **Guillermo Edmundo Caicedo Díaz:** logística, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Leidy Díaz por permitirnos la toma de muestras para el presente ensayo; Milena Roció Guzmán Remeció, por su gestión en la obtención de reactivos y equipos; Juan Camilo Castaneda, por

la colaboración en todos los procesos en el laboratorio; y estudiantes del curso de Microbiología de Suelos, ciclo 16-02 2022 del CCAV Neiva, por su participación en la realización de la parte experimental.

REFERENCIAS

Agronegocios. (2020). *Los cultivos con mayor número de hectáreas se concentran en el café, palma y arroz*. <https://www.agronegocios.co/agricultura/los-cultivos-con-mayor-numero-de-hec->

[tareas-se-concentran-en-el-cafe-palma-y-arroz-3033622](https://www.agronegocios.co/agricultura/los-cultivos-con-mayor-numero-de-hec-tareas-se-concentran-en-el-cafe-palma-y-arroz-3033622)

Bustos, M. C. (2012). *Destino ambiental del glifosato en una zona arrocera del Tolima, Colombia*. [Tesis de doctora-

- do]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10422>
- Chaves, G., Ortiz, M. L. y Ortiz, L. Y. (2013). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Acta Agronómica*, 62(1), 66-72. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/30023
- Cuervo, J. (2007). *Comportamiento del glifosato en suelos arroceros del departamento del Tolima-Colombia y su actividad sobre la biota microbiana del suelo*. Universidad Nacional.
- Druille, M., Acosta, A. P., Acosta, G. L., Rossi, J. L., Rodolfo, G., and Matías, B. (2017). Response to glyphosate application of beneficial soil fungi associated with *Lotus tenuis*. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 43(3), 297-302. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6232490>
- Ferrera, R. y Alarcón, A. (2015). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *CIENCIA Ergo-Sum*, 8(2), 175-183. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7583>
- Hussain, S., Siddique, T., Saleem, M., Arshad, M. y Jalid, A. (2009, mayo 7). Impacto de los plaguicidas en la diversidad microbiana del suelo, las enzimas y las reacciones bioquímicas. *Avances en Agronomía*, 102, 159-200. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01005-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01005-0)
- Torsvik, V., Salte, K., Sørheim, R. y Goksøyr, J. (1990). Comparación de la diversidad fenotípica y la heterogeneidad del ADN en una población de bacterias del suelo. *Microbiología Aplicada y Ambiental. Sociedad Americana de Microbiología*, 56(3), 776-781.. <https://doi.org/10.1128/aem.56.3.776-781.1990>.
- Wollum, A. G., II. (2015). Cultural Methods for Soil Microorganisms. En *Agronomy Monographs* (pp. 781-802). Sociedad Americana de Agronomía; Sociedad de Ciencias del Suelo de América. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c37>



Licencia de Creative Commons

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Fecha de recibido: abril-22-2024
Fecha de aceptado: junio-20-2024
DOI: 10.22490/ECAPMA.8081

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS BOVINOS DE CRUCES CON CRIOLLO CAQUETEÑO, EN UN SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO, EN LA FINCA VILA MERY EN EL MUNICIPIO DE MORELIA, CAQUETÁ

EVALUATION OF PRODUCTIVE AND REPRODUCTIVE PARAMETERS OF CATTLE CROSSBRED WITH CRIOLLO CAQUETEÑO, IN A DUAL-PURPOSE SYSTEM, AT THE VILA MERY FARM IN THE MUNICIPALITY OF MORELIA, CAQUETÁ

Lucerina Artunduaga Pimentel

Zootecnista, Especialista en Alta gerencia, Magíster en Educación con énfasis en educación superior

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-ECAPMA

Grupo de investigación Inyumacizo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3156-5883>

lucerina.artunduaga@unad.edu.co

Ricardo Rusinque Becerra

Médico Veterinario Zootecnista, Especialista en Formulación y Evaluación de Proyectos

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-ECAPMA

Grupo de investigación Inyumacizo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9311-0246>

ricardo.rusinque@unad.edu.co

Citación: Artunduaga, L. y Rusinque, R. (2024). Evaluación de parámetros productivos y reproductivos bovinos de cruces con criollo caqueteño, en un sistema de doble propósito, en la finca Vila Mery en el municipio de Morelia - Caquetá. *Working Papers ECAPMA*, 8(1), 81-100. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.8081>

RESUMEN

Contextualización del tema: el presente trabajo de investigación expone la evaluación de parámetros productivos y reproductivos de bovinos procedentes de cruces con criollo caqueteño, en un sistema de doble propósito, en la finca Villa Mery en el municipio de Morelia, Caquetá. Lo anterior a través de la recolección de datos productivos y reproductivos de manera retrospectiva en la finca, durante los años 2018 al 2022 y la toma de nuevos datos a partir del inicio de la investigación y durante los doce meses siguientes para la obtención de indicadores y el análisis de los mismos. Finalmente, se busca comparar los parámetros productivos de la raza pura de criollo caqueteño con cruces raciales.

Vacío de investigación: la raza criollo caqueteño está a punto de desaparecer de los hatos del departamento del Caquetá, pues se estima que hay poco menos de 300 ejemplares. Desafortunadamente los ganaderos siguen desconociendo las cualidades de adaptación, resistencia, buen estado de carnes incluso con baja oferta alimentaria y, por supuesto, la alta rusticidad ante las adversas condiciones de la región Amazónica. En consecuencia surge la pregunta ¿de qué manera la genética del ganado criollo caqueteño incide en el mejoramiento de los parámetros productivos y reproductivos cuando se cruza con otros tipos raciales en condiciones de

bosque húmedo tropical en el departamento del Caquetá?

Propósito del estudio: evaluar parámetros productivos y reproductivos de cruces de bovinos con la raza criollo caqueteño, en un sistema de doble propósito, en la finca Villa Mery en el municipio de Morelia, Caquetá.

Metodología: el presente estudio se llevó a cabo en la finca Villa Mery en el municipio de Morelia, Caquetá, mediante la recolección de datos productivos y reproductivos de manera retrospectiva en la finca, entre los años 2018 al 2022, así como la toma de nuevos datos a partir del inicio de la investigación y durante los 12 meses siguientes para la obtención de indicadores y el análisis de estos. La metodología se da bajo un enfoque sistémico, a través del análisis de los subsistemas (población, reproducción y producción); en ese sentido, se plantea un abordaje que permita realizar un análisis comparativo por año y por lote, permitiendo con las conclusiones mejorar la toma de decisiones de los propietarios del predio Villa Mery en lo que se refiere a la proyección de este recurso genético.

Resultados y conclusiones: el lote de ganado de Criollo Caqueteño Puro es un recurso genético importante que se puede utilizar como apalancamiento en el cruzamiento con razas cebuinas y taurinas, ofre-

ciendo la oportunidad de mejorar los indicadores técnicos, tanto productivos como reproductivos de la región caqueteña.

Palabras clave: comportamiento animal, eficiencia, genética animal, producción, reproducción animal

ABSTRACT

Contextualization: The present research work exposes the evaluation of productive and reproductive bovine parameters of crosses with Criollo Caqueteño, in a dual-purpose system, in the Villa Mery farm in the municipality of Morelia - Caquetá, through the retrospective collection of productive and reproductive data in the farm, from the years 2018 to 2022 and the collection of new data from the beginning of the research and during the following 12 months to obtain indicators and their analysis. Finally, compare the productive parameters of the purebred Caqueteño Criollo breed with racial crosses.

Knowledge gap: The Criollo Caqueteño breed is about to disappear from the herds of the department of Caquetá, since it is estimated that there are a little less than 300 specimens. It is undeniable that cattle breeders are still unaware of the qualities of adaptation, resistance, good meat conditions even with low food supply, and of course the high hardiness in the adverse conditions of the Amazon region. How do the genetics of Caqueteño Criollo cattle affect the improvement of productive and reproductive parameters when crossed with other breeds in tro-

pical rainforest conditions in the department of Caquetá?

Purpose: To evaluate productive and reproductive parameters of crossbred cattle with the Criollo Caqueteño breed, in a dual-purpose system, in the Villa Mery farm in the municipality of Morelia - Caquetá.

Methodology: The present study was carried out on the Villa Mery farm in the municipality of Morelia - Caquetá, through the retrospective collection of productive and reproductive data in the farm, from 2018 to 2022 and the collection of new data from the beginning of the research and during the following 12 months to obtain indicators and their analysis. The methodology is given under a systemic approach, through the analysis of the subsystems (Population, Reproduction, and Production), in that sense, an approach that allows a comparative analysis per year and a lot is proposed, allowing the conclusions to improve the decision making of the owners of the Villa Mery farm regarding the vision of this genetic resource.

Results and conclusions: The Pure Caqueteño Criollo Caqueteño cattle lot is an important genetic resource that can

be used as leverage in crossbreeding with zebu and taurine breeds, offering the opportunity to improve technical indicators, both productive and reproductive in the Caqueteño region.

Keywords: Animal; animal genetics; animal reproduction; production; animal resources; animal behavior; efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería desempeña un papel crucial en el desarrollo económico y social del departamento del Caquetá, en Colombia este sector no solo provee una fuente de ingresos vital para numerosas familias campesinas, sino que también contribuye significativamente a la seguridad alimentaria regional y nacional. Según estudios del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI (2019), la ganadería es una actividad económica estratégica en el Caquetá, que además constituye una importante fuente de empleo e ingresos para la población rural. Además, la producción ganadera en esta región no solo abastece el mercado local, sino que también juega un papel crucial en la producción de carne y lácteos a nivel nacional, contribuyendo así a la economía colombiana en su conjunto. La actividad ganadera promueve el desarrollo rural al incentivar la inversión en infraestructura, tecnología y mejoramiento genético del ganado, fortaleciendo la capacidad productiva y la competitividad del sector agropecuario regional (FAO, 2021). Según cifras del Comité Departamental de Ganaderos del Caquetá (CDGC, 2024), el departamento registra una población ganadera bovina de 2.293.528 animales,

pastando en 21.070 predios, los cuales son manejados de manera extensiva y, en algunos casos, se registran parámetros productivos y reproductivos muy bajos.

De igual manera, a la ganadería del departamento cada vez ingresan a los hatos diferentes razas bovinas de acuerdo con la orientación y productividad que se busque, ya sea carne o leche. Por ejemplo, para producción de leche han tomado auge cruces de Gyr x Holstein, así como de Holstein x Brahman; para producción de carne, algunos cruces de Cebú x Simmental y Cebú x Senepol y pocos ejemplares del Criollo Caqueteño, raza bovina insignia del Departamento (Martínez-Tovar et al., 2017). De acuerdo con la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria–UPRA (2023), existe un núcleo pequeño de la raza criollo caqueteño y se considera que está a punto de desaparecer de los hatos del departamento, pues se estima que hay un poco menos de 200 ejemplares. Lo anterior confirma que los productores y ganaderos de la región desconocen las bondades de adaptación, resistencia, buen estado de carnes, la baja oferta alimentaria y, por supuesto, la alta

rusticidad ante las adversas condiciones de la región Amazónica.

En tal sentido, el Comité Departamental de Ganaderos del Caquetá le sigue apostando a la defensa y promoción de la raza, por lo que en este momento cuenta con un núcleo puro de Ganado Criollo Caqueteño GCC con cerca de 100 bovinos en la finca Villa Mery, con el propósito de mejorar la rentabilidad en la cría del ganado Criollo Caqueteño y sus cruces. Domínguez (2023), del periódico *El Tiempo* indica que “esta raza es ideal para las zonas que registran altos niveles de temperatura y humedad relativa y las fincas escarpadas del piedemonte amazónico”.

A raíz de lo expuesto, vale la pena evaluar los parámetros tanto productivos como reproductivos del ganado criollo caqueteño en cruces con otras razas, de tal manera que se pueda establecer si existen factores genéticos que puedan cambiar

drásticamente la estructura genética de estos. Lo cual significa que si los ejemplares del GCC se cruzan con animales de otras razas, no solo sus características permanecen constantes a causa de factores genéticos en sus caracteres, sino que también se fijan las variables con menor grado de significancia, con lo que se logra por supuesto un mejor desempeño, haciendo que sus características deseables sean heredadas.

En estas circunstancias, el principal objetivo de esta investigación fue evaluar los parámetros productivos y reproductivos de cruces de bovinos con la raza criollo caqueteño, en un sistema de doble propósito, en la finca Villa Mery en el municipio de Morelia, Caquetá, lo cual servirá para argumentar de manera técnico-científico, las bondades del criollo en sistemas de cruzamiento en un sistema doble propósito.

2. METODOLOGÍA

El sitio de estudio está ubicado en la finca Villa Mery en la vereda Albano del municipio Morelia en el departamento del Caquetá, a una distancia de 7,7 km del casco urbano del municipio de Morelia, altitud de 258 msnm, precipitación media anual de 3.493 mm/año y su clima se caracteriza por lluvias abundantes, temperaturas moderadamente altas (la temperatura promedio en el sitio de estudio es de 24,4°C) y alta humedad

atmosférica. Según Espinal (1990), en la distribución de las zonas de vida en el Caquetá-Holdridge (1978), la zona de vida corresponde a Bosque Húmedo Tropical (BHT).

El proyecto incluye una investigación mixta, la cual permite recopilar, analizar e integrar tanto investigación cuantitativa como cualitativa. Lo anterior, para una mejor comprensión del problema de la investigación (Muñoz, 2024).

Inicialmente se realizó un inventario y categorización del hato del núcleo puro de criollo caqueteño compuesto por 86 animales. Luego se identificaron los animales de cruces con criollo y otras razas, los cuales están compuestos por 34 animales para un total de 120 en este estudio; dicha información fue obtenida inicialmente del Software Ganadero SG y, posteriormente, confirmada en campo. La investigación se desarrolló como un tipo de investigación observacional con componentes retrospectivos, pues se tomaron registros ya existentes de un periodo de tiempo es-

tablecido entre los años 2018 al 2022 que han alimentado el Software Ganadero, lo que permitió el cálculo de los indicadores para su análisis; igualmente se realizó con prospectiva ya que durante los siguientes 12 meses (año 2023), se tomaron registros de los animales para establecer sus parámetros productivos, reproductivos y con ellos realizar las respectivas comparaciones y evaluaciones correspondientes. Asimismo, el estudio es longitudinal de análisis evolutivo de grupo de tipo descriptivo (Delgado et al., 2004).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta el inventario consolidado para ambos lotes y el número de bovinos general, que para el caso corresponde a 120, de los cuales 86 (71,6%),

corresponden al lote Criollo Caqueteño Puro y 34 (28,4%) al lote de Criollo Caqueteño Cruzado.

Tabla 1. Inventario categorizado de ganado criollo caqueteño puro y cruzado

Categoría	Total Criollos Puros	Total Criollos Cruzados	Total General
Vacas paridas	18	3	21
Crías hembra	11	2	13
Crías macho	7	1	8
Vacas secas	24	5	29
Novillas de vientre	10	18	28
Hembras de levante	8	2	10
Machos de levante	2	3	5

Machos de ceba	2	0	2
Reproductores	4	0	4
TOTAL	86	34	120

Fuente: autores.

En el lote de ganado Criollo Caqueteño Cruzado (CCC) sobresale la participación de las novillas de vientre con 53 % que equivalen a 18 novillas de vientre. Las vacas paridas corresponden al 9 % de participación (3 vacas) y las vacas horras o secas con participación de 14 %, equivalente a 5 vacas. La distribución encontrada en este lote no corresponde a una distribución normal entre vacas y novillas, toda vez que este lote surge de los cruzamientos que se presentan en el lote de ganado Criollo Caqueteño Puro (CCP), sin hacerlo totalmente absorbente. Así, se debe mantener el puro y realizar algunos cruzamientos que permitan conformar el lote de CCC, por eso lo encontrado son pocas vacas y una mayor cantidad de novillas de vientre que se levantaron para que, a futuro, se pueda aumentar el total de vacas de este lote.

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizaron las relaciones obtenidas solo para el lote de ganado CCP, lote que no solo debe conservarse sino que da origen al lote de CCC.

Vacas paridas y vacas horras

La relación vacas paridas y vacas horras actualmente es de 0,75 a 1. Sobre un esperado de 3 a 1, la relación está directamente asociada a la estacionalidad de partos

que se da al momento de realizar el análisis, toda vez que se encontró un mayor número de vacas horras que paridas, la causa fue un mayor número de secados realizados en los meses de noviembre y diciembre respectivamente.

Crías y Vacas totales

La relación que se presenta para estas categorías es de 0,4 a 1, como causa de lo descrito en la Tabla 1 Inventario Categorizado. El inventario tiene 18 vacas paridas y 24 horras, lo que significa 42 vacas en total y 18 crías.

Novillas y vacas totales

La reposición inmediata está dada por las 10 novillas de vientre, categorizadas por ser mayores a 2 años. Sin embargo, el inventario cuenta además con 8 hembras de levante y 11 crías hembra, sumando las 3 categorías da como resultado 29 hembras, con lo que la relación total es 0,7 a 1. Dicha relación es importante tenerla en cuenta ya que permite proyectar el crecimiento del lote puro, con retención de hembras nacidas en el propio predio, para posteriormente decidir si estas hembras de reposición propia se preñan de los toros criollos puros o de los Cebuinos, Brahman.

Toros y hembras aptas

El total de toros en el lote de ganado CCP es de 4 y la sumatoria de las vacas totales (42), más las novillas de vientre 10, dando como resultado 52 hembras aptas. Si bien la relación con las cantidades actuales es de 1 toro por cada 10, 5 hembras aptas podríamos sumarles las hembras aptas del lote de ganado CCC, que corresponden a 18 novillas de vientre y 8 vacas. La idea es elevar el cruzamiento a $\frac{3}{4}$ de criollo Caqueteño si se entoran las novillas F1 con los criollos puros. Alternativamente también se puede mejorar la densidad de trabajo de los toros si hay la posibilidad de seleccionar novillas Cebuinas para aumentar el número

de cruzamientos, a fin de obtener un mayor número de F1.

Distribución de vacas y número de partos

La distribución de las vacas por número de partos permite conocer la estabilidad de una vacada en su condición de jóvenes, intermedias o adultas. La Figura 1 deja ver que las vacas que pertenecen al lote de ganado CCP son principalmente jóvenes, 27 de ellas (64 %), se encuentran entre 1 y 2 partos. Las vacas intermedias entre 3 y 5 partos corresponden a 14 vacas (33 %) y las vacas adultas son solo el 3 %, que corresponde a 1 vaca.

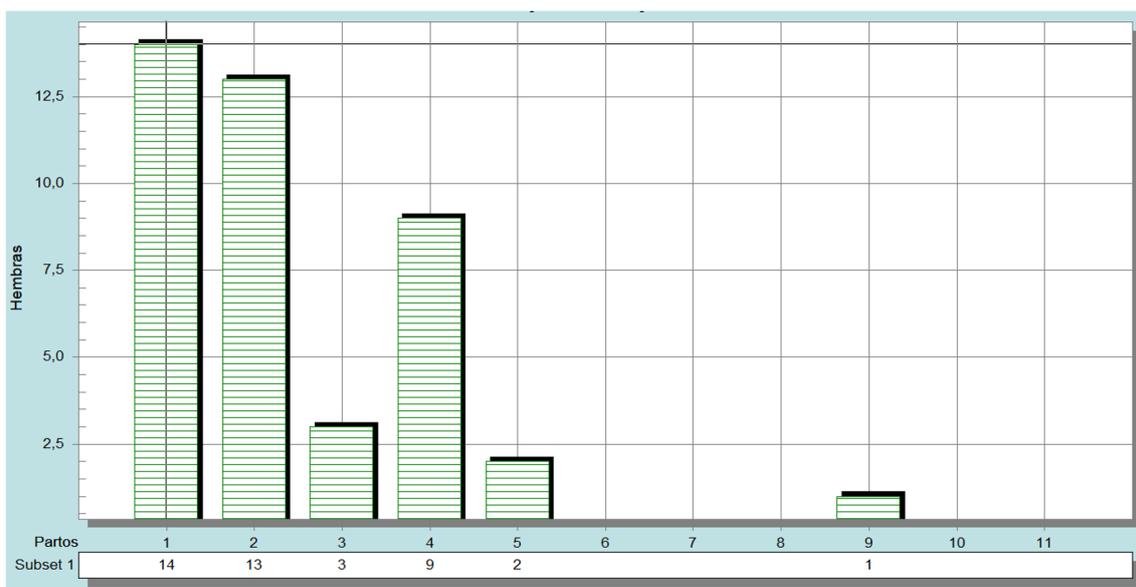


Figura 1. Distribución de vacas por número de parto lote puro

Fuente: autores.

Curva de crecimiento

En cuanto a la curva de crecimiento no se presentan resultados, en el predio no se adelanta como parte del manejo y moni-

toreo, el seguimiento al peso post-destete, razón por la cual se no permite construir la curva de crecimiento para hembras y machos.

REPRODUCCIÓN

Intervalo parto concepción lote CCP y CCC

Este indicador es de vital importancia para el sistema productivo ya que evidencia la eficiencia con la cual las vacas se preñan después del parto, lo que está altamente relacionado con el balance energético, de tal suerte que si la pérdida de condición corporal es progresiva durante toda la lactancia no habrá presentación de celos, ni mucho menos servicios. La Figura 2 presenta el comparativo del indicador, evidenciando que los valores más bajos corresponden al lote CCC; si bien es un lote

que no presenta un alto número de vacas, sí deja ver que el cruzamiento con los cebuinos les permite a las hembras cruzadas almacenar un poco más de reserva corporal. Otro factor asociado que permite que en ambos lotes se presente una disminución en el indicador es el hecho de contar con una mejor alimentación que viene dada por una mejor rotación, que se viene trabajando desde 2016, aumentando el número de potreros.

Para el caso del CCC se pasó de 195 días en 2018 a 174 días en 2023, una disminución de 21 días. Para el caso del CCP, se pasó en el mismo periodo de tiempo de 221 a 194 días, lo que representa una disminución de 27 días en el indicador.

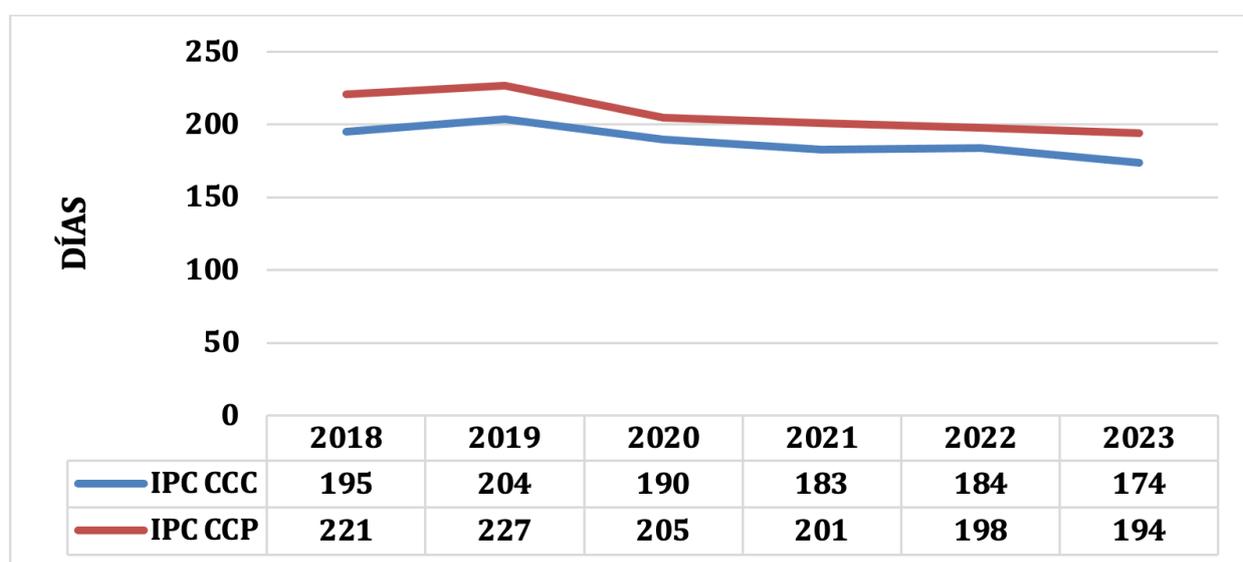


Figura 2. Comparativo para el intervalo Parto-Concepción en los lotes CCP y CCC

Fuente: autores.

Días promedio de gestación lote CCP y CCC

La Figura 3 presenta el comparativo para los días de gestación de los lotes CCP y

CCC, casi que para ambos lotes el promedio de gestación se da sobre los 270 días, teniendo por ejemplo para el año 2023 un valor de 267 días para el lote CCC y de 268 para el CCP, respectivamente.

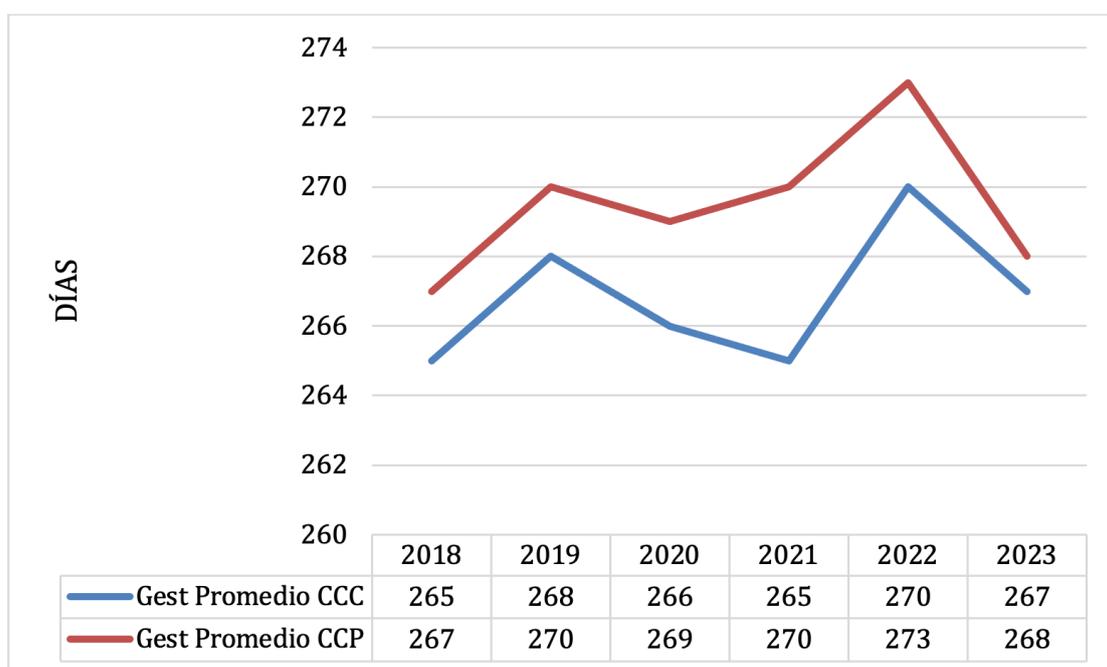


Figura 3. Comparativo para la duración de la gestación en los lotes CCP y CCC
Fuente: autores.

Intervalo entre partos lote CCP y CCC

Este indicador reproductivo permite conocer el tiempo que transcurre entre un parto y el siguiente, en este caso la Figura 4 muestra la tendencia presentada por el indicador desde el año 2018 para ambos lotes. En ese sentido, las barras de color azul corresponden al IEP del lote de CCC, que como se comentó anteriormente, no

tiene el mismo número de vacas que el lote puro; sin embargo, teniendo en cuenta que el manejo en el predio es el mismo, sí se observa cómo la conformación fenotípica dada por el cruzamiento da lugar a tener una mejor acumulación de reserva corporal, que le permite a su vez preñar más rápido, como se evidenció en los resultados del Intervalo Parto Concepción Lote CCP y CCC.

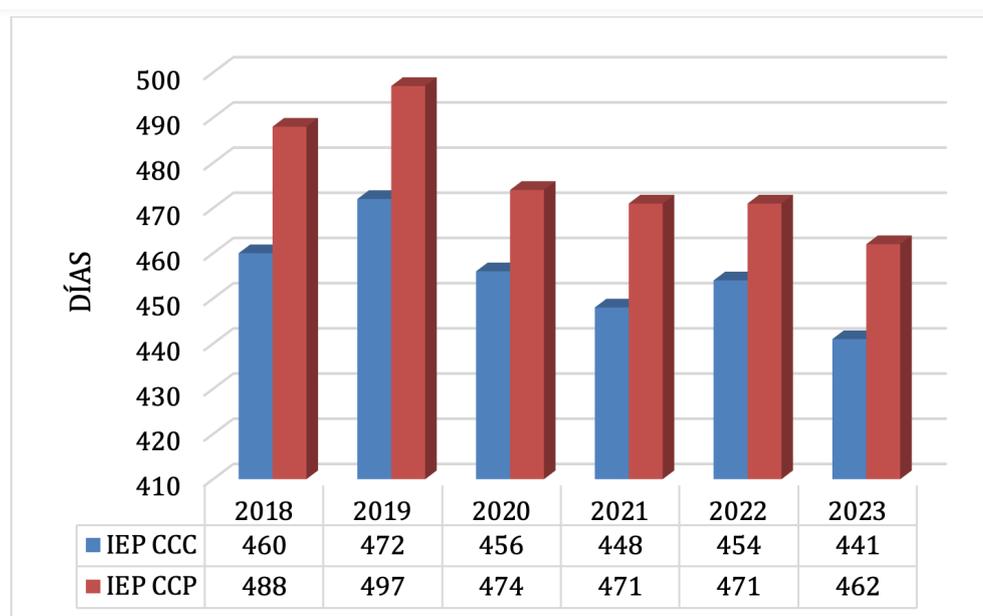


Figura 4. Comparativo para el Intervalo Entre Partos (IEP) en los lotes CCP y CCC

Fuente: autores.

De esta manera el valor del indicador para 2023 cerró en 441 días para las vacas del CCC y 462 en el CCP. En ambos lotes se evidencia una tendencia decreciente desde 2018, para el caso del lote CCP se pasó de 488 días a 462, es decir, una disminución de 26 días. Para el caso del

lote CCC se pasó de 460 días a 441, una disminución de 19 días. El mejoramiento obtenido para el indicador viene apoyado por un mejoramiento en las prácticas de producción, como es el caso de mejorar la oferta forrajera, la suplementación mineral y el plan sanitario.

Tasa de natalidad lote CCP y CCC

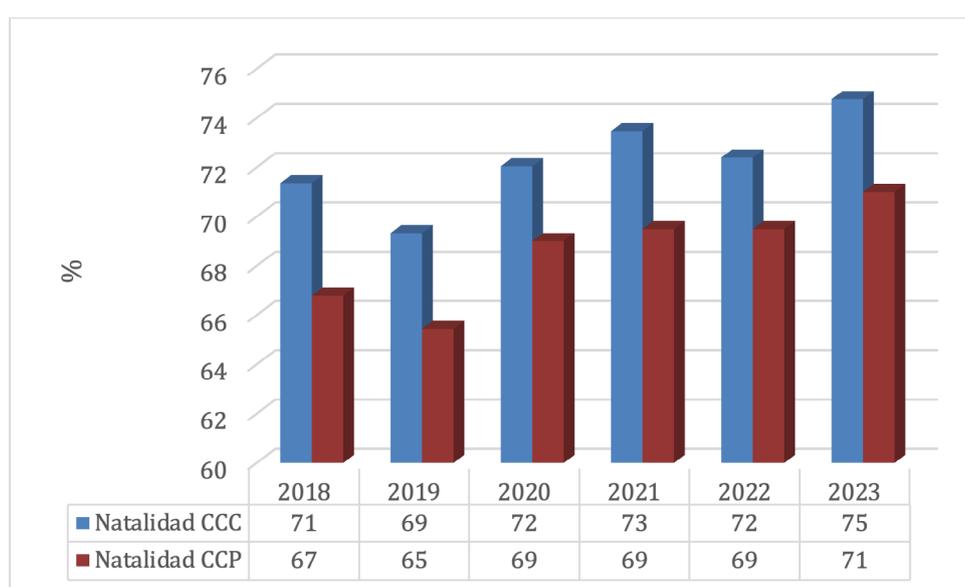


Figura 5. Comparativo para el Intervalo Entre Partos (IEP) en los lotes CCP y CCC

Fuente: autores.

La Figura 5 muestra el comportamiento para la tasa de natalidad en ambos lotes, de manera general se presenta una tendencia creciente que ha permitido mejorar la cantidad de nacimientos desde 2018 para los dos lotes. Para el caso del CCP la tasa de natalidad pasó de 67 % a 71 % en 2023, lo que significa un crecimiento de 4 %, mismo crecimiento presentado por el lote CCC, que pasó de 71 % a 75 % en 2023. Este crecimiento positivo en ambos lotes relacionados con la tasa de natalidad ha permitido aumentar el número de destetos, en el caso de los machos se convierten en un mayor ingreso ya que se tienen más machos para la venta.

PRODUCCIÓN

Condición corporal en vacas paridas lote CCP y CCC

El indicador de condición corporal es ampliamente utilizado en el predio Villa Mery, la captura del dato se realiza durante los chequeos reproductivos, al parto, o al secado. La Figura 6 presenta los valores para la condición corporal en vacas paridas desde 2018 hasta 2023, para los lotes de CCP y CCC. La medición de la condición corporal se da para el presente análisis en las vacas paridas y no en otras categorías, teniendo como razón el desbalance nutricional por efectos de la lactancia y el sistema productivo en el que se desempeña (Cría).

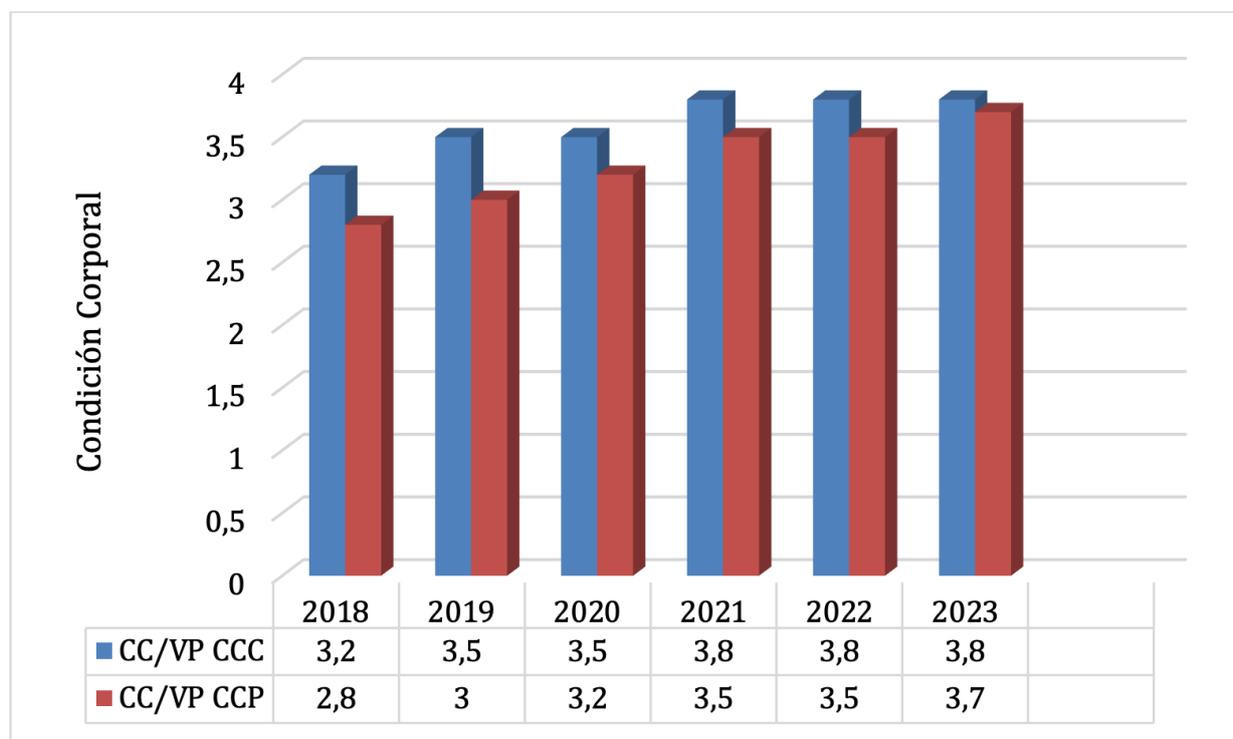


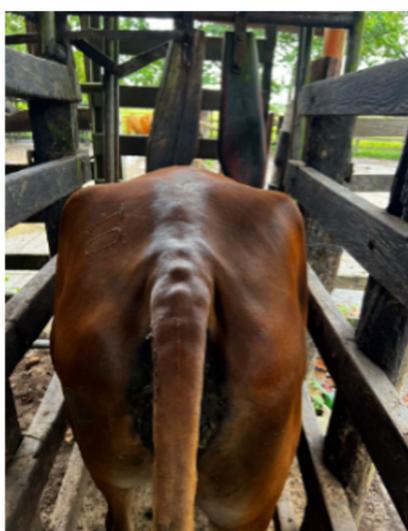
Figura 6. Comparativo para la Condición Corporal en Vacas Paridas en los lotes CCP y CCC
Fuente: autores.

Desde 2018 se presenta un crecimiento sostenido para los valores de la condición corporal, para el caso del lote CCC se pasa de 3,2 a 3,8 y para el lote CCP de 2,8 a 3,7. Positivo, toda vez que evidencia una mayor capacidad de las vacas para afrontar la lactancia, capacidad dada no solamente por el cruzamiento, que para el caso de CCC le permite una mayor acumulación

de reservas corporales dada por el fenotipo del cebú, si no por la implementación de las prácticas de producción, algunas de ellas mencionadas anteriormente.

La Figura 7A evidencia la condición corporal obtenida para una vaca parida del lote CCC con 3,8 y la Figura 7B la condición corporal de 3,5 para una vaca parida del lote CCP.

Figura 7. Condición corporal obtenida para una vaca



A. Condición Corporal 3,8
Lote CCC



B. Condición Corporal 3,5.
Lote CCP

Fuente: autores.

Días en lactancia lote CCP y CCC

El indicador de días en Lactancia desde 2018 hasta 2023 para los lotes CCC y CCP, se presenta en la Figura 8, donde se puede apreciar una disminución de los días de lactancia tanto en el lote CCC como CCP. Esta tendencia decreciente en el indicador esta correlacionada con el mejoramiento observado en el intervalo parto concep-

ción, en consecuencia, a menor intervalo parto concepción menor serán los días en lactancia, por el hecho de tener que secar la vaca justo 2 meses antes del parto. Los valores obtenidos para 2018 eran de 316 días para el CCC y de 325 para el CCP. A cierre de 2023 el indicador presentó valores de 279 días para el CCC y de 290 días para el CCP. La disminución absoluta en días del lote CCC es de 37 días, mientras en el CCP fue de 35 días.

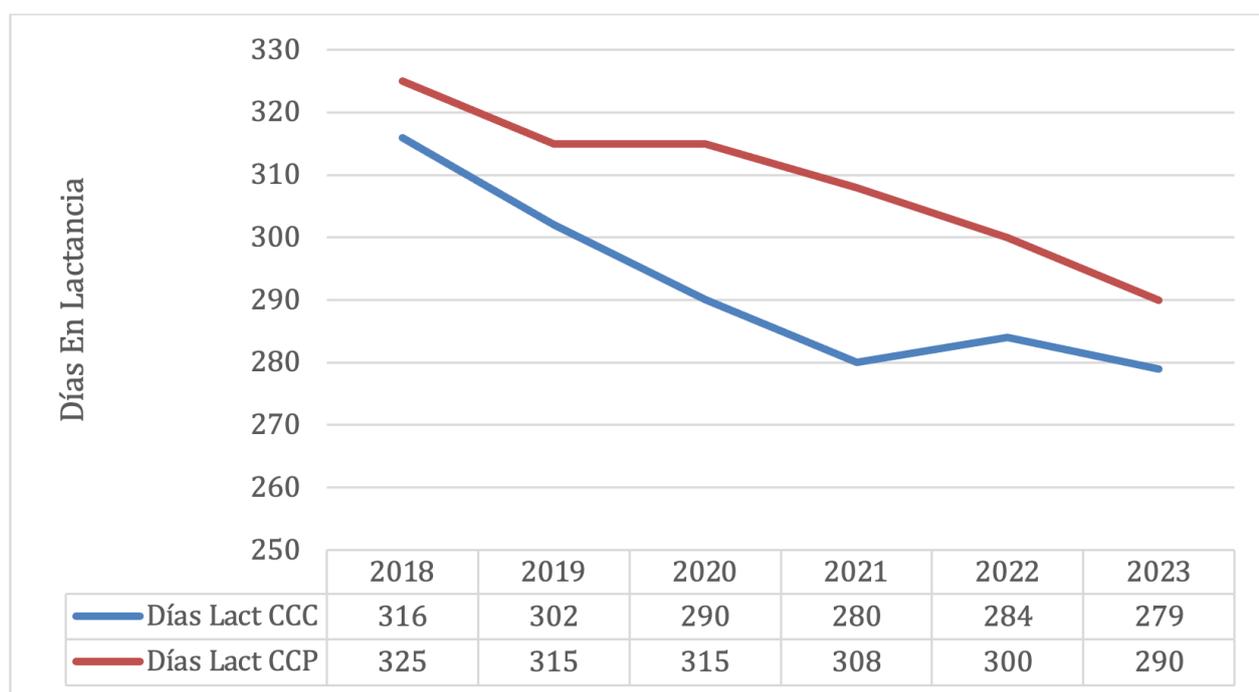


Figura 8. Comparativo para los Días en Lactancia en los lotes CCP y CCC

Fuente: autores.

Ganancia de peso g/día predestete lote CCP y CCC

Este es un indicador productivo bien importante, que mide la eficiencia de ganar peso en un día, sus factores asociados más relevantes son la producción de leche (Habilidad Materna), la oferta forrajera, suplementación mineral, plan sanitario y por supuesto el cruzamiento. La Figura 9 se evidencia el comportamiento del indi-

cador para los lotes CCC y CCP. La tendencia presenta un crecimiento sostenido desde 2018; para el caso particular del lote CCC pasó de 480 g/día en 2018 a 620 g/día en 2023, presentando una variación absoluta de 140 g/día o un crecimiento del 29%. Para el lote de CCP se obtuvo en 2018 380 g/día y pasó a 510 g/día en 2023, presentando un crecimiento de 130 g/día.

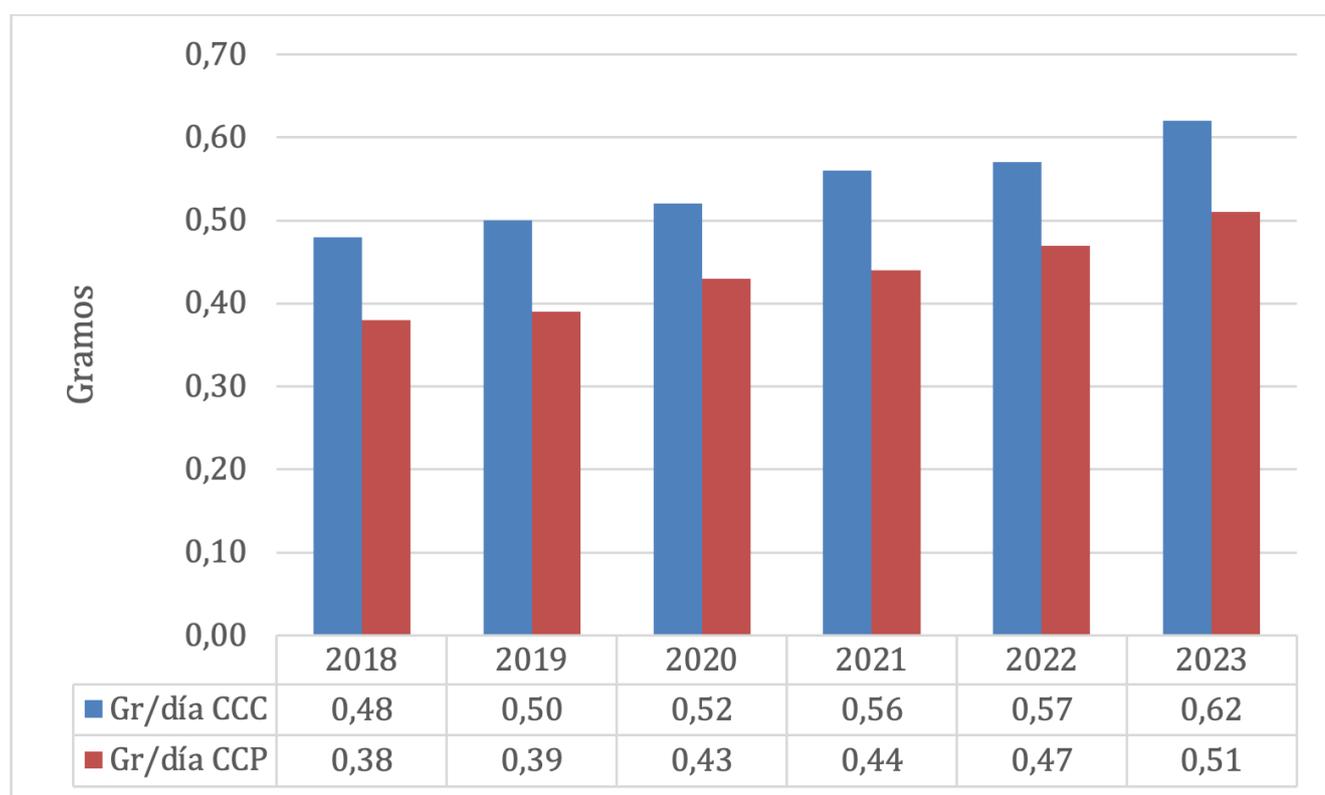


Figura 9. Comparativo para la Ganancia Predestete g/día en los lotes CCP y CCC
Fuente: autores.

Ganancia de peso g/día/IEP lote CCP y CCC

La Figura 10 presenta el indicador de ganancia de peso teniendo en cuenta los días de intervalo entre partos, el indicador se presenta con el objetivo de tener claridad de todo el proceso productivo de la vaca, esto implica no solo el periodo de lactancia, como se evaluó anteriormente, sino sumar el periodo seco (tiempo de descanso de la vaca que le permite prepararse para el próximo ciclo productivo). La eficiencia radica en maximizar diariamente el desarrollo muscular del ternero

que la vaca produce hasta el momento del destete, y en asegurar que la vaca tenga un periodo seco corto y se recupere rápidamente.

En este caso las ganancias de peso son menores a las encontradas en la ganancia de peso g/día predestete Lote CCP y CCC y, como consecuencia de lo comentado anteriormente, en la Figura 9 se presenta un crecimiento sostenido para ambos lotes. Para el análisis de cada lote el CCC, pasó de 400 g/día de IEP en 2018 a 470 g/día de IEP en 2023. En el caso del CCP, se pasó de 320 g/día de IEP en 2018 a 390 g/día de IEP en 2023.

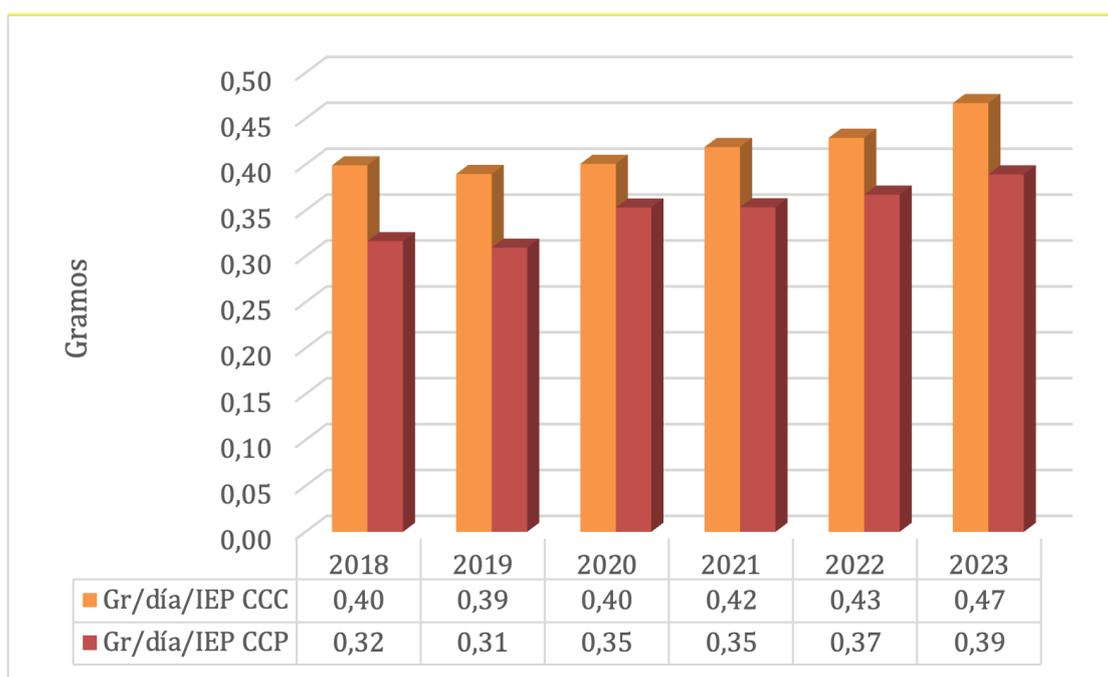


Figura 10. Comparativo para la Ganancia Predestete g/día en los lotes CCP y CCC
Fuente: autores.

Peso Al Nacimiento Lote CCP y CCC

Los pesos al nacimiento entre 2018 y 2023 para ambos lotes se presentan en la Figu-

ra 11 Los pesos para ambos lotes oscilan entre 31 y 33 kilogramos, con algunas variaciones muy pequeñas entre los lotes.

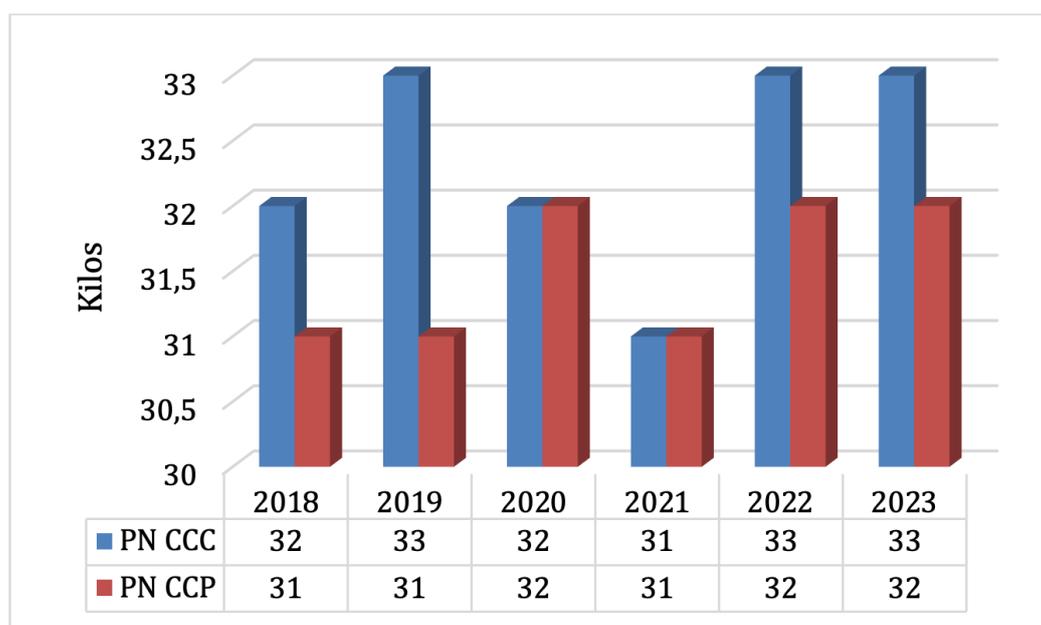


Figura 11. Comparativo para el Peso al Nacimiento en los lotes CCP y CCC
Fuente: autores.

Peso al destete lote CCP y CCC

El último indicador productivo del análisis corresponde al peso al destete, pues en últimas lo que factura el predio Villa Mery son kilogramos de desteto, bien sea para venta a un tercero o para dejar hembras destetas para reposición propia, como se comentó en uno de los apartados anteriores. Para llegar hasta aquí, ha sido necesario transitar por los subsistemas de población y de reproducción; en

ese sentido, bajo un enfoque sistémico, se necesita de un inventario con vacas que se preñen y paran frecuentemente para tener así un volumen de nacimientos que va a estar en concordancia con la eficiencia reproductiva (intervalo parto concepción) que luego se traduce en natalidad, para posteriormente estar en función de la ganancia de peso y como resultado último del peso al destete.

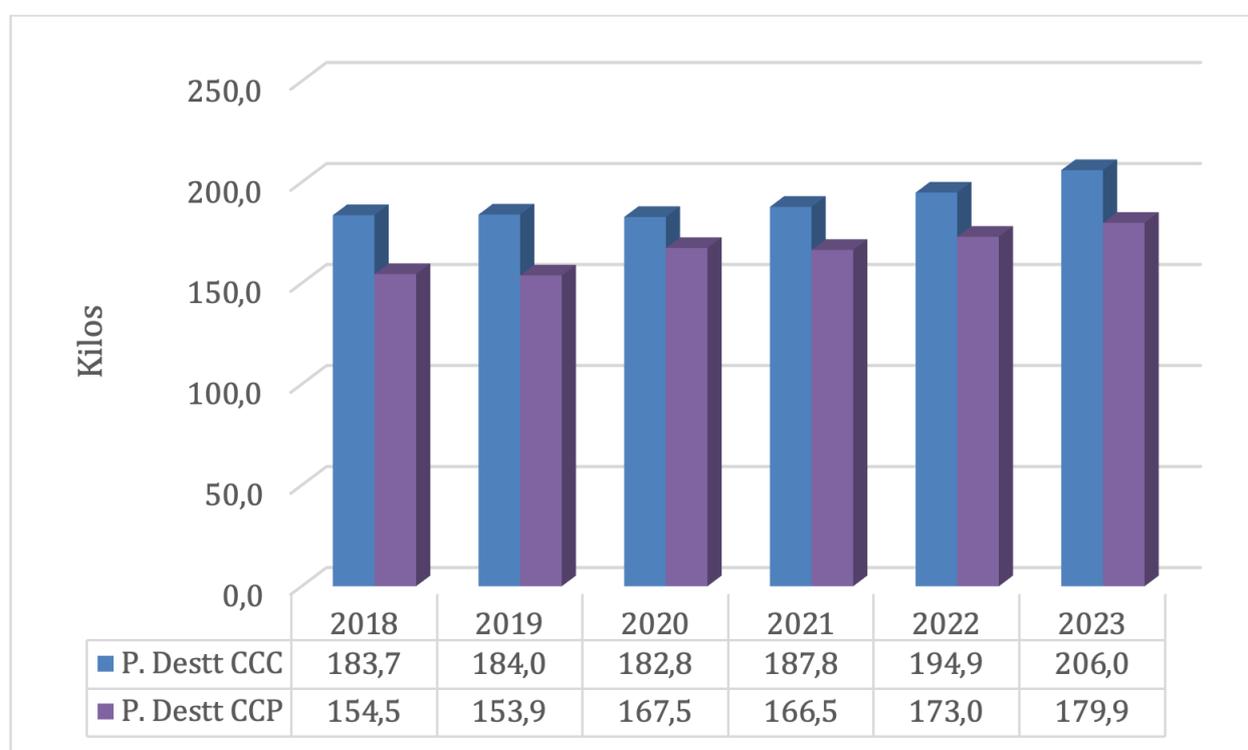


Figura 12. Comparativo para el Peso Al Destete en los lotes CCP y CCC

Fuente: autores.

En la Figura 12 se presentan los pesos al destete obtenidos entre los años 2018 a 2023, para los lotes de ganado CCC y CCP. A pesar de que los días en lactancia se han reducido para el caso de ambos lotes, como se analizó en los días en lactan-

cia lote CCP y CCC, (en el caso de la cría, se disminuye el tiempo en esa categoría), se aprecia cómo el peso al destete tiene un crecimiento de 22.3 kilogramos, en el lote de CCC pasando de 183,7 Kg a 206 Kg, entre 2018 y 2023 respectivamente.

El incremento registrado para el caso del lote puro en el mismo periodo de tiempo es de 25,4 Kg, logrando pasar de 154, 5 kilogramos a 179,9. En este caso el me-

joramiento del indicador está altamente asociado con la ganancia de peso diaria que, como vimos anteriormente, viene mejorando desde 2018.

4. CONCLUSIONES

Los lotes de ganado Criollo Caqueteño Puro (CCP) y Criollo Caqueteño Cruzado (CCC) suman en total 120 bovinos, de los cuales el 71,6 % corresponden al lote puro y 21,6 % al cruzado. Ambos lotes están conformados por una vacada joven y se propone desde el presente análisis establecer el grado de crecimiento del inventario que puedan tener ambos lotes, partiendo de una visión que incluso en el largo plazo pueda incluir el cruzamiento con toros tipo leche, para el caso del lote puro, mediante inseminación artificial.

Para un mejor monitoreo y seguimiento de la ganancia de peso, se propone establecer una periodicidad en el pesaje de las hembras para reposición de ambos lotes, que permita construir en el mediano y largo plazo la curva de crecimiento.

Resaltar el hecho que los indicadores reproductivos y productivos no mejoraron es el resultado de implementaciones realizadas previamente que causan un mejoramiento continuo cuando son

sostenidas en el tiempo, todas las prácticas son importantes ya que en alguna medida contribuyen al mejoramiento de los indicadores; no obstante, queremos destacar la división sostenible de praderas (DSP), que tiene como fin mejorar la oferta forrajera, otra que se considerada es la suplementación mineral, mejorada en oferta y calidad del producto y una tercera relacionada con la gestión de información que ha permitido precisamente realizar las implementaciones descritas, ya que el sistema de información llevado a través del Software Ganadero, ha permitido realizar una planeación y control en la medida que se han venido construyendo los indicadores.

El lote de ganado CCP, resulta un recurso genético de gran importancia para la región, toda vez que se puede utilizar en el cruzamiento con diferentes razas tanto cebuinas como taurinas, ofreciendo la oportunidad de mejorar los indicadores técnicos.

REFERENCIAS

- Comité departamental de ganaderos del Caquetá. [FEDEGAN]. (7 de marzo de 2024). *Coyuntura ganadera del Caquetá: un análisis de la evolución sectorial* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/live/o1yIVMkIWYo?si=jmd-wkYSLEWQpfWIO>
- Delgado, M. y Llorca Díaz, J.(2004). Estudios longitudinales: concepto y particularidades. *Revista Española de Salud Pública*, 78(2), 141-148. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272004000200002&lng=es&tlng=es
- Domínguez, J. (25 de octubre de 2023). El criollo caqueteño, a punto de desaparecer. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1026905>
- Espinal, L. (1990). *Zonas de vida de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. (2019). *Sistemas de producción en el medio Caquetá (Cartagena del Chairá) GEF Corazón de la Amazonia*. SINCHI. https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/novedades%20editoriales/pdf/GEF_Caqueta%CC%81%2008_05_2020.pdf
- Martínez-Tovar, R.A., Herrera-Valencia, W. y Motta-Delgado, P.A. (2017). *Razas y cruces bovinos de doble propósito en el departamento del Caquetá*. Editorial Misión Verde Amazonía: Corporación para el Desarrollo Sostenible y Mitigación de Cambio Climático..
- Muñoz, A. (2024). Investigaciones mixtas: Los desafíos de combinar lo cuantitativo y lo cualitativo en la investigación. *Medium*. <https://medium.com/@ajmv2000/investigaciones-mixtas-los-desaf%C3%ADos-de-combinar-lo-cuantitativo-y-lo-cualitativo-en-la-38b775a839cd>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] y Agencia de Desarrollo Rural – Departamento del Caquetá. (2021). *Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial*. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/Tomo-1-CAQUETA.pdf>
- Torrijos, E. (2022). Razas bovinas de Colombia-Caqueteño. <https://razasbovinasdecolombia.weebly.com/caqueten-tildeo.html>
- Zapata, J., Rodríguez, J., Garcés, E., Sandoval, J., Romero, C., Portillo, C., Quintero, R., Silva, A., Silva, N., y Londoño, F. (2023). *Plan maestro de reconversión productiva agropecuaria de la cadena cárnica bovina*. Región Centro Sur. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA



Licencia de Creative Commons

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Fecha de recibido: junio -12-2024

Fecha de aceptado: Julio-17-2024

DOI: 10.22490/ecapma.8247

DISEÑO DE UN INVERNADERO TECNIFICADO MEDIADO POR POLINIZADORES PARA LA UNAD - CCAV FACATATIVÁ

DESIGN OF A TECHNOLOGICALLY ENHANCED GREENHOUSE MEDIATED BY POLLINATORS FOR UNAD - CCAV FACATATIVÁ

Sindy Dayana Rodriguez Lugo

Ingeniera Agrónoma, especialista en manejo sostenible en el sistema suelo, agua y planta, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9561-4539>

Sindy.rodriguez@unad.edu.co

Mery Rocio Fonseca Lara

Bióloga, magister en Gestión Ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1324-0252>

Mery.fonseca@unad.edu.co

William Alexander Cuevas Carrero

Ingeniero electrónico, magíster en Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia , UNAD

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2852-5525>

william.cuevas@unad.edu.co

Citación: Rodriguez, S.D., Fonseca, M.R., Cuevas, W.A.(2024). Diseño de un invernadero tecnificado mediado por polinizadores para la UNAD CCAV Facatativá. *Working Papers ECAPMA*, 8 (1), 101-114.

<https://doi.org/1022490/ECAPMA.8247>

RESUMEN

Contextualización: la agricultura tradicional enfrenta desafíos como la baja productividad, el uso ineficiente de recursos y el impacto ambiental negativo. Esto ha llevado a la necesidad de implementar sistemas de producción agrícola sostenibles y eficientes que aprovechen las condiciones agroecológicas locales y promuevan la conservación de la biodiversidad. Estudios indican que la polinización asistida por insectos puede aumentar el rendimiento de los cultivos en un 20% a 40%, produciendo frutos más uniformes, de mayor tamaño y mejor sabor. Además, los polinizadores pueden ayudar a controlar plagas y enfermedades, reduciendo la necesidad de pesticidas químicos. Regiones como Europa, América del Norte y Asia han sido pioneras en emplear esta técnica.

Vacío de investigación: en la región Sabana de Occidente del departamento de Cundinamarca no se tiene conocimiento de proyectos que implementen la mediación con polinizadores en cultivos. Este proyecto surge como iniciativa para investigar la viabilidad técnica y económica de la implementación de este tipo de sistemas bajo un entorno controlado.

Propósito del estudio: el estudio se orienta al diseño de un invernadero tec-

nificado para cultivos de tomate y fresas mediados por polinizadores en la UNAD CCAV Facatativá. Además, busca fortalecer académicamente a estudiantes de las escuelas de ECAPMA y ECBTI con un espacio para realizar investigaciones y prácticas de laboratorio.

Metodología: se empleó una investigación de tipo correlacional con enfoque mixto. se inició con la búsqueda de información en la literatura y la recolección de datos en campo. Posteriormente, se definió la ubicación, el tamaño y las características técnicas para el invernadero tecnificado mediado por polinizadores, basado en parámetros del uso de suelos descritos en el POT del Municipio de Facatativá.

Resultados y conclusiones: se logró el diseño 2D y 3D para el invernadero, la selección de la especie *Bombus Atratus* como polinizador y la identificación de la instrumentación electrónica para monitorear y controlar las variables de temperatura y humedad tanto del invernadero como de la colmena del polinizador.

Palabras clave

Automatización agrícola, *Bombus Atratus*, eficiencia de cultivos cubiertos, tecnificación de procesos.

ABSTRACT

Contextualization: Traditional agriculture faces challenges such as low productivity, inefficient resource use, and a negative environmental impact. This has led to the need to implement sustainable and efficient agricultural production systems that take advantage of local agro-ecological conditions and promote biodiversity conservation. Studies have shown that insect-assisted pollination can increase crop yields by 20% to 40%, leading to more uniform, larger, and tastier fruits. Pollinators can also help control pests and diseases, reducing the need for chemical pesticides. Regions such as Europe, North America, and Asia are pioneers in the use of this technique.

Knowledge gap: In the Sabana de Occidente region of the department of Cundinamarca, there is no known project that implements pollination mediation in crops.

Purpose: This project arises as an initiative to investigate the technical and economic feasibility of implementing this type of system under a controlled environment. The project focuses on the design of a technified greenhouse for tomato and strawberry crops mediated by pollinators at UNAD CCAV Facatativá.

The greenhouse will also allow for the academic strengthening of students from the ECAPMA and ECBTI schools by providing a space for research and laboratory practices.

Methodology: A mixed-method correlational research approach was used for the project development. It began with a literature search and data collection in the field. The location, size, and technical characteristics of the pollinator-mediated technified greenhouse were then defined, based on soil use parameters described in the Land Use Plan (POT) of the Municipality of Facatativá.

Results and conclusions: The project achieved the 2D and 3D design of the greenhouse, the selection of the *Bombus Atratus* species as a pollinator, and the identification of the electronic instrumentation to monitor and control the Temperature and Humidity variables of both the greenhouse and the pollinator's hive.

Keywords

Agricultural automation, *Bombus Atratus*, efficiency of covered crops, process technology

1. INTRODUCCIÓN

En un contexto marcado por el crecimiento poblacional, el cambio climático y la degradación ambiental, factores que han hecho que la producción agrícola tradicional enfrente retos cada vez más complejos. La agricultura sostenible se ha convertido en una necesidad imperiosa para garantizar la seguridad alimentaria a nivel global.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el mundo necesita producir un 35% más de alimentos para el año 2050 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, s. f.). Sin embargo, los sistemas agrícolas actuales están generando un impacto ambiental considerable, contribuyendo a la deforestación, la erosión del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad (Beznar et al., 2022).

En este escenario, la agricultura sostenible surge como una alternativa viable para satisfacer la demanda alimentaria de manera responsable y respetuosa con el medio ambiente, ya que este enfoque promueve prácticas agrícolas que optimizan el uso de recursos naturales, reducen la huella de carbono y conservan la biodiversidad (*Sustainable Agriculture*, s. f.).

Así mismo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas en su ODS 2, “Hambre cero”, busca poner fin al hambre, lograr la seguridad alimen-

taria, y mejorar la nutrición, y así como promover la agricultura sostenible (Naciones Unidas, 2015). Sin embargo, la implementación de la agricultura sostenible enfrenta diversos retos, debido a la falta de acceso a la tierra y al agua, pobreza, y desigualdad y el cambio climático, factores que pueden afectar negativamente la productividad de los cultivos y la disponibilidad de recursos naturales (*Sustainable Agriculture*, s. f.).

Es así como surge la importancia de los invernaderos tecnificados ya que representan una herramienta poderosa para la implementación de técnicas de agricultura sostenible. Dichas estructuras permiten optimizar las condiciones de crecimiento de los cultivos, independientemente de las particularidades climáticas externas.

Entre sus principales beneficios se destaca, en primer lugar el aumento de la productividad por el control del clima, la humedad y la luz solar, permitiendo cosechas más abundantes y de mayor calidad; en segundo lugar, reducción del uso de agua debido a los sistemas de riego eficientes que minimizan el consumo hídrico; en tercer lugar, es un ambiente controlado que reduce la proliferación de plagas y enfermedades, minimizando el uso de pesticidas; y finalmente se puede cultivar durante todo el año, independientemente de las estaciones y emplea un menor uso de productos químicos y

mayor control de las condiciones de crecimiento, resultando en alimentos más seguros y nutritivos.

A partir de lo anterior, en un panorama local que el municipio de Facatativá cuenta con un clima clasificado como frío y seco (Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente, 2017), condiciones que permiten el cultivo de diversos productos agrícolas, tanto transitorios como perennes, entre ellos, la fresa (*Fragaria sp*) y el tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*). No obstante, la región cuenta con afectaciones climáticas por la ocurrencia de heladas (Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente, 2017) que perjudican el crecimiento, desarrollo y producción de los sistemas agrícolas susceptibles, por lo que solo el 5 % del área cultivada total está bajo condiciones protegidas (Aldana Dimas, 2020; Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente, 2017). Es así como surge el proyecto de diseñar un invernadero tecnificado para cultivos de tomate y fresa que incluya una mayor tecnificación mediante la inclusión de polinización mediada por *Bombus atratus* y sistemas de monitoreo y control electrónico, para el CCAV de la UNAD Facatativá.

Lo anterior, con base en lo presentado por (Coronel et al., 2018) donde se resalta la importancia de emplear la especie nativa *Bombus atratus* como polinizador eficiente de cultivos hortofrutícolas colombianos bajo invernadero, a su vez se evaluaron de la eficiencia de la polinización con dos colonias huérfanas incorporadas en un cultivo de fresas de las variedades camino real y ventana sembrados

bajo invernadero en Cajicá-Colombia, encontrando una mejora en la calidad de los frutos en las variables, calibre (35 % y 31 %), longitud (28 % y 19 %), peso fresco (103 % y 90 %), peso seco (126 % y 145 %) y número de semillas (55 % y 81 %) para las variedades Camino Real y Ventana respectivamente; argumentando como conclusión del proyecto que:

“El abejorro *B. atratus* es un polinizador eficiente para los cultivos de fresa bajo cubierta ya que incrementa la calidad de los frutos en contraste con los producidos mediante polinización espontánea. El uso de colonias huérfanas de *B. atratus* puede ser una alternativa para la polinización de cultivos de fresa, similar a lo reportado en otras especies de abejorros del género *Bombus*”. (Coronel et al., 2018)

Así mismo, (Salvarrey et al., (2020) y (Toni et al., 2021) evidenciaron la necesidad de emplear polinizadores dentro de los cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*) sembrados bajo invernadero, ya que se encuentra limitado en su rendimiento, es por esto que en estudio se compararon los frutos de flores polinizadas por abejorros Canelones y de flores no visitadas por insectos, encontrando que hubo un incremento del tamaño del fruto entre un 13% al 47%, siendo esta una característica relacionada directamente al aumento de peso, tamaño y número de semillas frente a frutos que no fueron visitados; llegando a la gran conclusión de que el uso de polinizadores y preferiblemente nativos mejoran significativamente la producción de tomates en invernadero.

Finalmente, desde el campo tecnológico se tiene el trabajo de (Arrazola et al., (s. f.) quienes presentan los avances de un proyecto para el monitoreo de variables climáticas al interior de un invernadero para cultivo de tomate rojo, el cual consta de una interfaz gráfica de usuario desarrollada en Java sobre el IDE Netbeans y ejecutada sobre una Raspberry que actúa como servidor de base de datos y como gestor de los datos proporcionados por una placa Arduino. Este funciona como sistema de adquisición de los sensores de

temperatura, humedad relativa y humedad del suelo; lo anterior, con el fin de que el agricultor conozca en tiempo real las condiciones climatológicas del cultivo y pueda tomar las acciones necesarias para maximizar su producción.

Es así como este proyecto tiene por objetivo diseñar un invernadero tecnificado para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) y fresa (*Fragaria sp*) con polinización mediada por *Bombus atratus* (*Hymenoptera: Apidae*), para el CCAV de la UNAD Facatativá.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este proyecto se empleó una investigación de tipo correlacional con enfoque mixto, donde por medio de la búsqueda de información en la literatura y la recolección de datos en campo, se definió la ubicación, el tamaño y las características técnicas para un Invernadero tecnificado mediado por polinizadores de la especie *Bombus Atratus* (*Hymenóptera: Apidae*), en el CCAV de Facatativá, el cual servirá como base para el desarrollo de investigaciones a favor del desarrollo social de la Región.

Como parte de los instrumentos y métodos para el desarrollo del proyecto se tuvieron los siguientes:

- Estudio de suelos con el fin de tener un análisis detallado de las características físicas, químicas y biológicas del suelo

en el sitio de ubicación del invernadero, lo anterior para determinar la viabilidad del cultivo de las especies seleccionadas y establecer las prácticas de manejo del suelo adecuadas.

- Identificación de los parámetros óptimos de las variables agroclimatológicas y biológicas (temperatura, humedad, luminosidad, precipitación y presencia de polinizadores) que influyen en el crecimiento y desarrollo de los cultivos en el invernadero de forma eficiente.
- Verificación de la compatibilidad del proyecto con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad de Facatativá, asegurando que el uso del suelo este acorde con las normas urbanísticas y ambientales vigentes.

- Diseño de la estructura del invernadero incluyendo materiales, dimensiones, tipo de cubierta, sistema de ventilación, sistema de riego y otros elementos relevantes bajo las condiciones relevantes identificadas previamente.
- Descripción de la instrumentación electrónica que permita el monitoreo y control de las variables agroclimáticas y biológicas relevantes para el invernadero, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones.
- Uso de herramientas computacionales para la simulación del sistema bajo diferentes condiciones climáticas y de cultivo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La compatibilidad de la instalación de una estructura tipo invernadero para fines académicos con el uso del suelo del área de la UNAD CCAV Facatativá fue verificado con base en el Plan de Ordenamiento territorial (Alcaldía de Facatativá, 2002) y la circular para estructuras livianas para actividades de zootecnia (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004)

Para el cultivo de tomates, se emplea la variedad 'Chonto', mientras que para las fresas se utiliza la variedad 'Camino Real'. Dentro del invernadero, se implementa sistemas de cultivo tanto en hidroponía como en camas de suelo, lleva a cabo el manejo nutricional ajustándose a los requerimientos específicos de cada cultivo, apoyados en los resultados del análisis de suelo, y por lo que se tuvieron sistemas de manejo del agua para asegurar el recurso hídrico para cada sistema.

La implementación del invernadero que se utiliza como sistemas de agricultura protegida permite reducir el impacto del clima en los cultivos (Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria Corpoica CI Tibaitatá, 2009), además de mejorar las condiciones de cultivo en términos sanitarios, nutricionales y de labores culturales, tales como el manejo del recurso edáfico, hídrico y polinización, entre otros.

Tales evaluaciones se realizan dentro de un invernadero ubicado en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, CCAV de Facatativá, con el fin de generar nuevo conocimiento e innovaciones tecnológicas, en el marco de la academia y la ciencia.

Para conocer las necesidades de suelo y hacer un uso eficiente del recurso se realiza un estudio de suelos con el fin de conocer las características físicas, químicas

y biológicas, de esta manera permite realizar manejos sostenibles a fin de preservar y mejorar la calidad edáfica, que se ve reflejada en la disminución y dependencia de insumos químicos externos e incrementa la productividad agropecuaria (Vallejo, 2012).

La calidad del suelo se define como su capacidad para funcionar dentro de un ecosistema natural o antrópico; además de sostener o mejorar la productividad animal o vegetal; para mantener y controlar la calidad ambiental, y para soportar la habitabilidad y salud del hombre (Doran y Parkin, 1994; Karlen et al., 2001; Bone et al., 2010).

Para el estudio de suelos se tomaron 10 submuestras del suelo del CEAD de Facatativá, a fin de conformar una muestra homogénea con un peso total de 1000 kg. Esta fue marcada y enviada al laboratorio Dr. Calderón Laboratorios Ltda., el cual arrojó que en el área de trabajo se cuenta con un suelo de textura Franco-Arcillo-Limoso, pH ligeramente ácido (6,08), con deficiencias de fósforo, nitrógeno nítrico, azufre, manganeso, cobre y zinc; niveles bajos de calcio y boro; niveles medios de magnesio y hierro y niveles altos de potasio. Por su parte, el análisis del extracto de saturación presentó niveles deficientes de calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, azufre y fósforo; y niveles bajos de nitrógeno nítrico.

Aunque el componente químico del suelo presenta deficiencias nutricionales importantes, el contenido de sodio no es un límite para los cultivos, además no requiere enmiendas para neutralizar aluminio.

La densidad aparente baja, junto con el alto contenido de materia orgánica sugiere que no presenta procesos de compactación que pueda afectar el crecimiento de las raíces, no obstante, por su clase textural, es necesario asegurar el correcto drenaje para evitar sobresaturación de humedad (Ortega y Corvalán, 2020).

Para el diseño del invernadero se solicitó el Plan de Ordenamiento Territorial POA vigente donde se definió el espacio en el que se ubica la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD - CCAV de Facatativá como *zona de expansión urbana*, incluida dentro de la Zona de Operación Chapinero, área en la cual se priorizó la vocación turística y productiva teniendo en cuenta la conservación y potencialización de los elementos paisajísticos y ambientales presentes. Este autor menciona también que parte de los proyectos de la Operación están enfocados en el equipamiento de tipo cultura, recreativo, educativo e institucional.

El Parágrafo 1 del Artículo 73 del POT (2002) explica que los predios ubicados dentro de zonas de expansión urbana pueden ser utilizados para actividades agropecuarias y forestales, lo que significa que la instalación de una estructura tipo invernadero es compatible con el uso del suelo de este sector.

Así se espera que con la implementación del invernadero tecnificado mediado por polinizadores se cree un ambiente de investigación para la innovación agropecuaria, específicamente para la evaluación de diferentes variables relacionadas con la producción de tomate y fresa.

Sistema de polinización mediada por *bombus atratus* (selección de la especie, condiciones para la supervivencia, diseño de la inclusión de la especie)

En el acondicionamiento del invernadero en función del sostenimiento de las colmenas de *Bombus atratus*, se tendrán en cuenta aspectos físicos y biológicos establecidos por (Romero, *et al.*, 2013). En consonancia con lo descrito, en (Pinilla & Aguilar, 2016) se indica la longevidad de las obreras puede estar relacionada directamente con las condiciones ambientales del entorno donde se encuentran, de allí la importancia de las herramientas de monitoreo dentro del diseño de este invernadero.

Como se mencionó anteriormente (*Solanum lycopersicum* y *Fragaria x ananassa*), se va a sembrar especies ricas en néctar y polen, esto con el fin de cubrir las necesidades nutricionales de las abejas cuando los cultivos antes mencionados no estén en floración. Adicional a ello, por fuera del invernadero se fortalecerá el jardín de los polinizadores para adecuar su entorno.

Introducción de las colonias - colmena para *Bombus atratus*

Según el tamaño del invernadero se manejará una única colmena, por lo tanto, se espera coleccionar una reina de *Bombus atratus* presente en la zona, donde se capturará y se depositará en un frasco de vidrio con ventilación.

Posteriormente se trasladará a una caja de cría de madera con las siguientes dimensiones: de 12.5 cm de frente por 7 cm de alto y 5 cm de fondo (Pérez, 2014). La caja tendrá un orificio en la parte superior para la alimentación de la reina (suministro de polen), así mismo tendrá un orificio en una de las caras laterales con el fin de brindarle agua (agua y azúcar) por medio de un bebedero de aves. La base de la caja será de una malla metálica y una lámina de cartón corrugado, esto con el fin de brindar una salida de desechos y darle soporte a la caja.

Modulo o cuarto de cría

Una vez la reina esté instalada en la caja, se dispondrá en un cuarto cría con las siguientes características teniendo en cuenta lo descrito por (Romero, *et al.*, 2013). La estructura será metálica y protegida por tres capas de polisombra negra 80%, la puerta será en madera triplex. Las medidas del cuarto dependerán directamente de la medida del invernadero y la temperatura del cuarto debe estar entre los 28 y 30°C, con una humedad relativa entre el 60 y 90%.

Monitoreo de la cámara de cría y traslado a colmena

La cámara de cría se alimentará cada dos o tres días con polen suministrado por apicultores del municipio de Facatativá; el polén junto con una solución azucarada será macerado hasta convertirse en una masa en forma de cilindro. El agua azucarada será renovada a necesidad

Una vez se identifique el nacimiento de obreras (por lo menos diez), se cambiarán a una caja de cría de mayor tamaño. Cuando la caja de cría ya contenga por lo menos 50 obreras se volverán a trasladar, el tamaño será más grande y adicional a ello, ya contarán con una salida para que puedan salir a forrajear, por lo tanto, no se les suministrará polen, sin embargo, el agua seguirá ofreciéndose.

La caja de cría con su reina y obreras será colocada dentro de un contenedor de cartón que estará dentro de una caja de tríplex con una malla protectora en la cara frontal; adicional a ello, tendrá un orificio de entrada y salida del nido creada por medio de un tubo PVC de ½ pulgadas.

Monitoreo y análisis de la colonia

Desde la cría y durante el establecimiento de la colonia dentro del invernadero se monitorearán los siguientes aspectos (Pérez, 2014): DDI: días después de la introducción de la colonia en el cultivo. DDC: Días después de iniciar la cría de la colonia, supervivencia de la reina, número de obreras, número de celdas de huevo, larva y pupa.

Sistema de control automatizado (instrumentación electrónica y sistema de control propuesto)

Para el invernadero es importante tener en cuenta las siguientes dos variables en

el sistema de control, la temperatura y la humedad del suelo, motivo por el cual se proponen los siguientes sensores industriales, teniendo en cuenta que garantizan la operación en condiciones hostiles y continuas.

En cuanto al sensor de temperatura y humedad del ambiente se propone el MTH300SD, el cual es de alta calidad, adopta un módulo de sensor avanzado de Suiza y un chip único de alto rendimiento diseñado para la medición de temperatura y humedad en HVAC, aire acondicionado central; invernaderos, equipo integrado, industria de secadoras, automatización de edificios, etc. Además, tiene como características alta precisión, alta estabilidad; alta tecnología de sellado y excelente protección de revestimiento; rangos de temperatura de -20 a 80 °C, 0 a 50 °C, -40 a 60 °C y Humedad de 0-100%, su señal de salida es de 4 a 20mA, 0 a 5VDC o 0 a 10VDC.

Sonda de humedad del suelo de alta precisión para invernadero

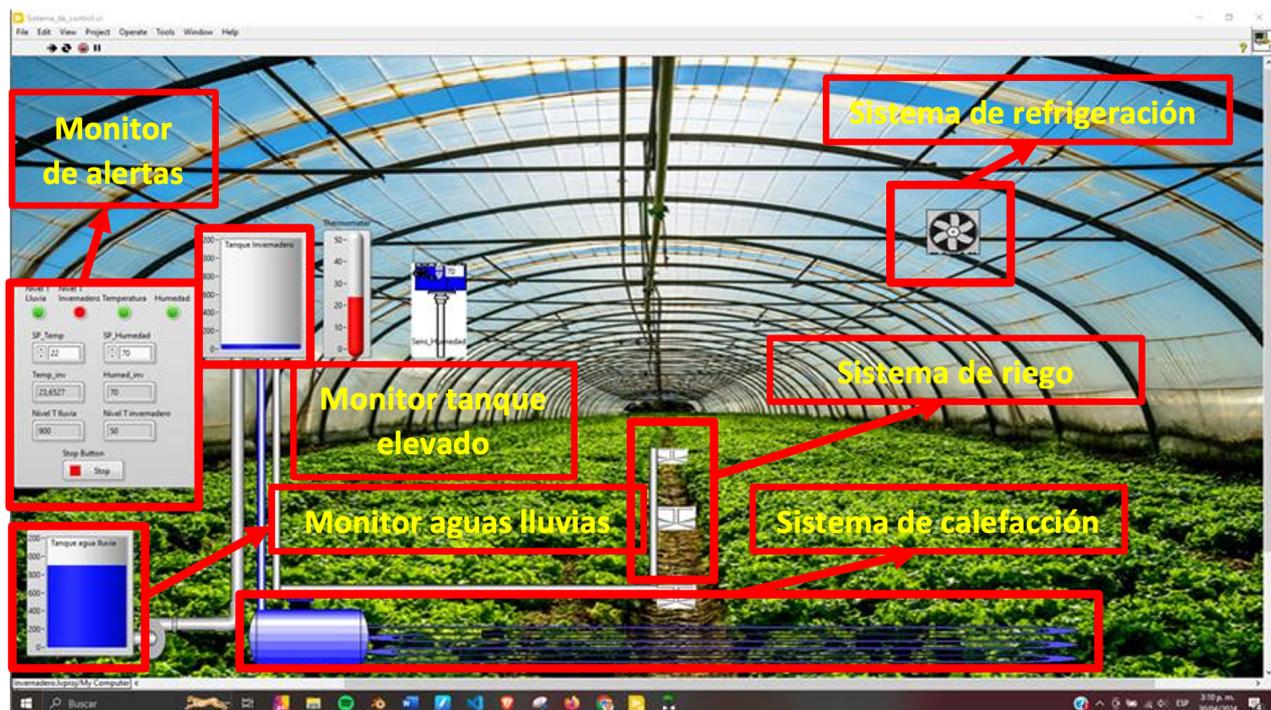
Por otra parte, se propone como sensor de humedad del suelo el HT-706, el cual es de alta precisión y sensibilidad con base en el principio de reflexión en el dominio de la frecuencia y fabricado con tecnología electrónica de alta frecuencia. Al medir la constante dieléctrica del suelo, puede reflejar directa y establemente el contenido de humedad real de varios suelos. Como características tiene una salida: RS-485, Modbus RTU, 0 a 10V, 4 a 20mA, 0 a 5V; tensión de alimentación

de 12 Vcc; resistente al agua, resistente a la corrosión, alta precisión, alta sensibilidad, rango de medición de humedad de 0% a 100%.

Para tener un monitoreo y control de las variables de temperatura y humedad en el

invernadero como en la colmena, se desarrolló una interfaz gráfica de usuario, la cual presenta en tiempo real la información y estado de las condiciones ambientales del cultivo como de los polinizadores. (Figura1).

Figura 1. Interfaz gráfica de usuario para las variables del invernadero



Fuente: autores.

Nota: Esta figura es de autoría propia de los investigadores y fue realizada en el software LabView 2022 el cual cuenta con licencia por parte de la UNAD.

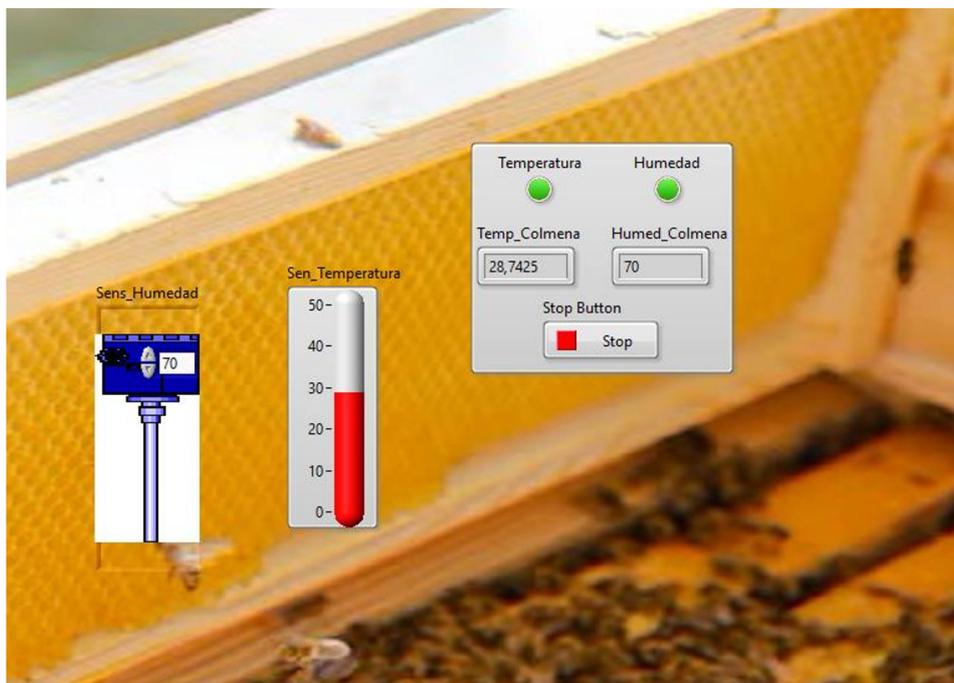
El monitor de variables para el invernadero consta de varios módulos de supervisión y control, tiene dos monitores para el nivel del agua lluvia recolectada como del tanque elevado para el invernadero, cuenta con un botón para encender una electrobomba de tal modo que cuando se disminuye el agua en el tanque elevado se puede bombear el suministro desde el tanque de aguas lluvias siempre y cuan-

do en este se cuenta con disponibilidad del recurso. Además se monitorean las variables de temperatura y humedad, de tal forma que si la temperatura es baja se enciende el sistema de calefacción el cual consiste en pasar agua caliente por unas tuberías de cobre y de esta manera por transferencia de calor aumentar la temperatura, si el caso es contrario y se tiene demasiada temperatura se enciende es el

sistema de refrigeración el cual consiste en un ventilador y bajar la temperatura. Para los cultivos seleccionados el rango óptimo de temperatura es de 20°C a 25°C por lo que se fijó un setpoint o punto de trabajo en 22°C para el sistema de con-

trol; así mismo, se cuenta con un sistema para el riego del cultivo cuando la humedad del suelo es baja, para esto se tiene como rango un porcentaje de humedad del suelo de 60% a 80% con setpoint del 70%. (Figura 2).

Figura 2. Interfaz gráfica de usuario para las variables de la colmena



Fuente: autores.

Nota: La figura anterior es de autoría propia de los investigadores y fue realizada en el software LabView 2022 el cual cuenta con licencia por parte de la UNAD.

El monitor de variables para la colmena consta de dos módulos de supervisión, uno para la supervisión de la humedad y otro para la temperatura, así mismo el panel cuenta con una sección para alertas con base en las condiciones que requie-

ren los polinizadores para su supervivencia, las cuales de acuerdo con la literatura se establecen como temperatura entre los 28°C y 30°C y humedad entre el 60% y 90%.

4. CONCLUSIONES

El diseño del invernadero tecnificado mediado por polinizadores y automatizado electrónicamente con sistemas control permitirá crear un ambiente de investigación para los estudiantes de las escuelas ECAPMA y ECBTI, con un alto

grado de innovación agropecuaria, logrando tener cultivos ecosostenibles con potencial de mejora en el rendimiento y la calidad de las cosechas tanto de tomate como de fresa.

REFERENCIAS

- Alcaldía de Facatativá. (2002). *Decreto 069 de 2002. "Por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Facatativá - Cundinamarca"*. <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/11996/8155-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aldana, G. (2020). *Plan de desarrollo municipal de Facatativá - "Facatativá correcta, un propósito común 2.020-2.024"*. <https://obsgestioneducativa.com/download/plan-de-desarrollo-municipal-facatativa-2020-2023/>
- Arrazola, J. S., Rangel, I. D., y Portugal, M. E. C. (s. f.). Sistema de monitoreo basado en una red de sensores para el cultivo de tomate rojo.
- Bezner Kerr, R., Hasegawa, T., Lasco, R., Bhatt, I., Deryng, D., Farrell, A., Gurney-Smith, H., Ju, H., Lluch-Cota, S., Meza, F., Nelson, G., Neufeldt, H., & Thornton, P. (2022). Food, fibre, and other ecosystem products. En H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. M. B. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria Corpoica CI Tibaitatá. (2009). *Cultivo de tomate en invernadero* (A. Paredes Zambrano,

- Ed.). Produmedios. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2196>
- Coronel, C. A. P., Jiménez, D. R., Benavides, L. A., & Cure, J. R. (2018). Eficiencia de polinización de colonias huérfanas de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) en fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo cubierta. *Acta Biológica Colombiana*, 23(1), 73-79.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). *Sustainable Food and Agriculture*. <https://www.fao.org/sustainability/en/>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Circular externa N° 3000-E2-53891. Estructuras livianas para actividades de zootecnia*.
- Pérez, M. M. (2014). *Evaluación del abejorro *Bombus atratus* Franklin (Hymenoptera: Apidae) como polinizador en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.'Camarosa') bajo invernadero* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Pinilla-Gallego, M. S., & Aguilar, M. L. (2016). Efecto del ambiente de cría en la longevidad de obreras y desarrollo de colonias de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae). *Acta biológica colombiana*, 21(1), 73-79.
- Romero, E., Cruz, C. P., Cure, J. R., Riaño, D., Padilla, S., & Aguilar, M. L. (2013). Desarrollo de un escenario de campo para el estudio de especies nativas de abejorros (*Bombus* spp.) de los Andes colombianos (Hymenoptera: Apidae). *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 9(2), 200-211.
- Naciones Unidas. (2015). *The 17 Goals*. <https://sdgs.un.org/goals>
- Salvarrey, S., Santos, E., Arbulo, N., Giménez, G., & Invernizzi, C. (2020). Características del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum*) utilizando abejorros nativos (*Bombus atratus*) como polinizadores en invernáculo. *Agrociencia*, 24(1).
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente. (2017). *Caracterización y diagnóstico de las cuencas hídricas del municipio de Facatativá*. *Sustainable Agriculture*. (s. f.). https://www.panda.org/discover/knowledge_hub/teacher_resources/webfieldtrips/sus_agriculture/
- Toni, H. C., Djossa, B. A., Ayenan, M. A. T., & Teka, O. (2021). Tomato (*Solanum lycopersicum*) pollinators and their effect on fruit set and quality. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(1), 1-13.



Licencia de Creative Commons

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Fecha de recibido: 18-04-2024
Fecha de aceptado: 29-06-2024
DOI: 10.22490/ECAPMA.8067

DINÁMICA HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO TIMANÁ, COLOMBIA

HYDROLOGICAL DYNAMICS OF THE UPPER MAGADELNA RIVER BASIN. CASE STUDY: TIMANA RIVER BASIN, COLOMBIA

Andrés Mauricio Munar Samboní

Docente Investigador - ECAPMA
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2056-7234>
andres.munar@unad.edu.co

Citación: Munar, A. (2024). Dinámica hidrológica de la cuenca alta del río Magdalena. Caso de estudio: cuenca del río Timaná, Colombia. *Working Papers ECAPMA*, 8(1), 115 – 139. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.8067>

RESUMEN

Contextualización: la gestión del recurso hídrico es crucial para garantizar la disponibilidad y calidad del agua para usos múltiples, incluyendo el abastecimiento humano, la agricultura, la industria y la conservación del medio ambiente. Este enfoque integral implica la implementación de políticas, tecnologías y prácticas que promuevan la equidad en el acceso al agua, la eficiencia en su uso, la protección de ecosistemas acuáticos y la mitigación de riesgos relacionados con la escasez, la contaminación y los eventos climáticos extremos.

Vacío de conocimiento: la gestión efectiva de recursos hídricos en regiones tropicales cada vez es más crítica debido a la complejidad de factores climáticos y geográficos. En este contexto, la predicción precisa de caudales máximos es esencial para mitigar riesgos de inundaciones y garantizar la seguridad hídrica.

Propósito: este estudio evalúa la dinámica hidrológica de la cuenca del río Timaná, localizada en la cuenta alta del río Magdalena.

Metodología: para tal fin se realizó: (1) determinación de las características morfológicas y fisiográficas de la cuenca, (2), caracterización hidro-climática y (3) estimación de caudales máximos a partir de modelación hidrológica utilizando el software HEC-HMS para lluvias de di-

seño en diferentes periodos de retorno y eventos extremos.

Resultados y conclusiones: los resultados demuestran la utilidad de HEC-HMS en la modelación de caudales máximos en la cuenca, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones en la gestión del agua y el diseño de obras hidráulicas. El estudio destaca la capacidad del modelo para simular con precisión eventos extremos de precipitación y prever la respuesta hidrológica, específicamente en términos de caudales máximos. Este trabajo no sólo contribuye al entendimiento fundamental de la hidrología en cuencas colombianas, sino que también destaca la utilidad de herramientas avanzadas como HEC-HMS en entornos geográficos y climáticos complejos, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y estrategias de gestión del agua en Colombia y otras regiones similares. El marco metodológico propuesto contribuye al avance del conocimiento en hidrología de la cuenca del río Magdalena, ofreciendo una herramienta valiosa para la planificación y gestión sostenible de recursos hídricos en estas regiones vulnerables.

Palabras clave: cambio climático, cuencas hidrográficas, modelación hidrológica, modelo HEC-HMS, recursos hídricos



ABSTRACT

Contextualization: Water resource management is crucial to ensure the availability and quality of water for multiple uses, including human supply, agriculture, industry, and environmental conservation. This integrated approach involves the implementation of policies, technologies and practices that promote equity in access to water, efficiency, protection of aquatic ecosystems and mitigation of risks related to scarcity, pollution, and extreme weather events.

Knowledge gap: Effective management of water resources in tropical regions has become increasingly critical due to the complexity of climatic and geographic factors. In this context, accurate prediction of peak flows is essential to mitigate flood risks and ensure water security.

Purpose: This study evaluates the hydrological dynamics of the Timaná river basin, located in the upper Magdalena River basin.

Methodology: The comprehensive methodology employed encompasses (1) determination of the morphometric and physiographic characteristics of the ba-

sin, (2) hydro-climatic characterization and (3) estimation of maximum flows from hydrological modeling using the HEC-HMS software for design rainfall in different return periods and extreme events.

Results and Conclusions: The results demonstrate the usefulness of HEC-HMS in modeling peak flows in the basin, providing valuable information for decision making in water management and the design of hydraulic and drainage works. The study highlights the model's ability to accurately simulate extreme precipitation events and forecast the hydrological response, specifically in terms of peak flows. This work not only contributes to the fundamental understanding of hydrology in Colombian watersheds, but also highlights the usefulness of advanced tools such as HEC-HMS in complex geographic and climatic environments, providing a solid basis for the development of the model.

Keywords: water resources, hydrological modeling, HEC-HMS model, river basins, climate change

1. INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de los recursos hídricos en regiones tropicales es cada día más importante debido a la interacción de factores climáticos y geográficos; además, las alteraciones referidas al ciclo hidrológico amenazan la seguridad hídrica y los ecosistemas. Los impactos del cambio climático en el uso del suelo y en la cobertura vegetal pueden influenciar significativamente el balance hídrico y los ciclos biogeoquímicos en las cuencas hidrográficas, alterando los procesos de interceptación, evapotranspiración, infiltración, humedad del suelo, ciclo de nutrientes y los patrones espaciales y temporales que caracterizan la respuesta hidrológica de estos ecosistemas (Li et al., 2022; Parra-Orobio et al., 2023).

Las estrategias de gestión integral de recursos hídricos apoyadas de herramientas de análisis y modelación hidrológica son cada vez más utilizadas para una mejor comprensión de los procesos y dinámicas en cuencas hidrográficas (Munar et al., 2018; 2019; 2022). Los modelos hidrológicos como el HEC-HMS permiten prever con precisión caudales máximos para mitigar riesgos de inundaciones, siendo óptimas herramientas para simular eventos extremos con adaptabilidad única a las condiciones tropicales (Chathuranika et al., 2022; Logah et al., 2023). Esto permite avanzar no solamente en la comprensión local sino también en el desarrollo global de metodologías de modelación hidrológica en entornos tropicales desafiantes.

Colombia, caracterizada por su topografía montañosa y patrones climáticos complejos, enfrenta desafíos únicos en la gestión del agua, especialmente en relación con eventos extremos de precipitación (Ávila et al., 2019; Giraldo-Osorio et al., 2022). La cuenca alta del río Magdalena enfrenta desafíos en la gestión y disponibilidad del recurso hídrico, que requieren evaluaciones hidrológicas confiables (Elgamal et al., 2017). Por otro lado, el análisis hidrológico y las simulaciones a través de modelos se ven obstaculizados por un conocimiento insuficiente e incierto de dinámica del régimen hidrológico en la cuenca. Por tanto, la integración de modelación hidrológica permite mejorar la comprensión de los principales factores que controlan los procesos hidrológicos e hidrodinámicos de las cuencas, facilitando la evaluación simultánea de diferentes periodos hidrológicos (húmedos y secos, variación diaria y estacionalidad), y las respuestas de las cuencas a potenciales impactos del cambio climático (Munar et al., 2018; 2019; 2022; 2023; Tavares et al., 2019; 2020).

Recientes estudios realizados en la cuenca del río Magdalena pronostican potenciales impactos del cambio climático en los caudales en diversas regiones de la cuenca, con significativas reducciones en las regiones altas y medias (Munar et al., 2022; 2023). Eventos de variabilidad climática como La Niña de 2010-2011 y las graves inundaciones que afectaron a gran parte de la cuenca del Magdalena-Cauca en Co-

lombia pusieron de manifiesto varias deficiencias en el enfoque de la gestión de los riesgos de inundación en el país (Werner et al., 2016).

La cuenca alta del río Magdalena, localizada en el departamento del Huila, de acuerdo a la Evaluación Regional del Agua-ERA, realizada por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena-CAM (Jiménez-Segura y Lasso, 2021), en un año hidrológico medio, produce 17.787 millones de metros cúbicos, volumen suficiente para suministrar agua a una población equivalente a 236 millones de habitantes, bastante mayor que la población de Brasil (208.5 millones de habitantes) (IBGE, 2017). A pesar de los esfuerzos realizados en los últimos años, cada vez se hace necesario utilizar la información científica para estrechar la relación existente entre las dinámicas climáticas y sus relaciones con el ciclo del agua, el cambio de los usos del suelo y las actividades socioeconómicas. Cabe destacar que, en el departamento del Huila, los principales efectos podrán reflejarse en el sector agrícola debido a los aumentos en precipitación, particularmente para monocultivos extensivos, dada la po-

sibilidad de aumento en plagas y enfermedades. La biodiversidad asociada a las zonas de mayor aumento de temperatura podrá verse afectada por estrés térmico (IDEAM, 2019b; 2023; Rodríguez, 2012).

Este estudio se centra en la evaluación de la dinámica hidrológica de la cuenca del río Timaná, situada en la parte alta de la cuenca del río Magdalena. La metodología integral empleada comprende (1) la determinación de las características morfométricas y fisiográficas de la cuenca, (2) la caracterización hidroclimática y (3) la estimación de caudales máximos a través de la modelación hidrológica utilizando el software HEC-HMS. Este trabajo contribuye significativamente a la comprensión básica de la hidrología en las cuencas colombianas, apoyado en herramientas avanzadas como HEC-HMS. El marco metodológico propuesto y los resultados obtenidos apuntan a promover la utilización de la información en diseño de obras hidráulicas y futuros estudios que integren alteraciones en el uso del suelo y cobertura vegetal, para implementar medidas de mitigación al cambio climático y estudios de disponibilidad hídrica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Características morfométricas y fisiográficas de la cuenca

Delimitación de la cuenca

La delimitación de la cuenca hidrográfica fue realizada utilizando operaciones de

geoprocesamiento mediante el software libre QGIS, usando el Plugin *IPH Hydro Tools* (Siqueira et al., 2016), considerando como entrada el modelo digital de elevación MDE SRTM de 30 m disponible en la Cartografía Base Escala del IGAC (IGAC, 2023), así como la información conteni-

da en las bases de datos vectoriales por hojas cartográficas en Escala: 1:25.000 del IGAC. Con las herramientas *IPH-Hydro Tools* y el módulo MHS (*Modified Heuristic Search*) fueron eliminadas las depresiones y estimados el flujo acumulado y la red de drenaje. A partir de esta última, fue delimitada la cuenca a estudiar; posteriormente, utilizando la herramienta *Stream segmentation*, la red de drenaje fue dividida en varios tramos de ríos desde las confluencias.

Las características morfométricas corresponden a la aplicación de procedimientos que, a través del estudio de la morfología y geomorfología, caracterizan de manera cuantitativa los rasgos propios de las cuencas hidrográficas en valores numéricos, los cuales permiten comparar en forma exacta una parte de la superficie terrestre con otra. Estos parámetros están relacionados con el régimen hidrológico de una cuenca en función de numerosos factores, entre los que predomina el clima y la forma del terreno en el cual se desarrolla el fenómeno. Las formas de la superficie terrestre, en particular su altitud, tienen influencia decisiva sobre los más importantes factores condicionantes del régimen hidrológico, como precipitación, escorrentía, infiltración y formación de depósitos y sedimentos. Los valores morfométricos son fundamentales para documentar la analogía territorial y establecer relaciones hidrológicas de generalización, que expresan en valores simples las características de paisajes complejos (Singh et al., 2013; Werner et al., 2016).

Para la determinación de las características morfométricas y fisiográficas de la cuenca fueron estimados parámetros físicos (e.g., área de drenaje, perímetro, altitud máxima y mínima, ancho de la cuenca), parámetros de forma (e.g., índice de compacidad o índice de Gravelius, factor de forma), características de relieve de la cuenca (e.g., pendiente media de la cuenca, elevación media, curva hipsométrica) y características del sistema de drenaje (e.g., identificación de los tipos de red de drenaje, orden de las corrientes y tiempos de concentración con su respectivo análisis estadístico y eliminación de valores extremos, *outliers*).

Caracterización hidro-climática

Datos hidroclimáticos y procesamiento

La información *hidro-climatológica* de cada estación fue obtenida de la base de datos del IDEAM, de acuerdo con las informaciones hidrometeorológicas disponible en el banco de datos hidrometeorológicos (IDEAM, 2019a). Fueron utilizadas estaciones climatológicas, agrometeorológicas, climatológicas ordinarias, climatológicas principales, estaciones pluviométricas y pluviográficas, estaciones limnigráficas y limnimétricas, estaciones fluviométricas, entre otras. Así mismo, fueron evaluados y completados los datos faltantes de las estaciones analizadas.

Estimación de caudales máximos a partir de modelación hidrológica con HEC-HMS

Espacialización de la lluvia y determinación del valor M

Para generar la espacialización de la lluvia máxima en 24h fue necesario como primer paso el tratamiento de la información base de las estaciones hidroclimatológicas. Este tratamiento consiste en calcular las precipitaciones promedio máximas en cada una de las estaciones estudiadas, lo cual se calcula promediando los valores máximos anuales para el periodo de registro. Con la precipitación máxima en 24h ($P_{max\ 24h}$) calculada para cada estación se realiza la espacialización de la misma con ayuda de un sistema de información geográfica. En el presente estudio se utilizó el software ArcGIS 10.2, en la cual están disponibles los métodos de interpolación IDW y Krigging.

Generación de series de lluvia sintéticas – Método regionalizado curvas IDF

Una vez se cuenta con la información espacializada, el paso siguiente para llevar a cabo la metodología (Vargas y Díaz-Granados, 1998), que consiste en calcular un valor promedio de precipitación en 24h máxima anual, este valor representa la variable M para cada subcuenca.

El valor M corresponde al valor promedio multianual de la precipitación máxima en

24 horas a nivel anual calculado para cada una de las subcuencas de la zona de análisis. Para determinar este valor se requieren realizar los siguientes pasos:

- Calcular el valor máximo de precipitación en 24 horas a nivel anual para cada año de registros en la estación medidora de lluvia.
- Calcular el valor promedio multianual teniendo en cuenta los periodos de registro válidos para cada estación medidora de lluvia.
- Espacializar los valores medios multianuales de las estaciones por medio de métodos de interpolación disponibles en las herramientas GIS.
- Encontrar el valor de M , que corresponde al valor medio de la variable especializada ($P_{Max\ 24h}$) para cada una de las subcuencas del sistema. Esto se realiza por medio de un análisis zonal de la variable especializada.

Construcción de curvas IDF

Como la zona del proyecto se encuentra dentro de la Región andina (R_1) entonces el valor de la intensidad se define a partir de los coeficientes de la región presentados en la Tabla 1 y que serán utilizados para estimar la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia IDF (Ecuación 1).

Tabla 1 Parámetros R1 Curvas IDF Sintéticas. Fuente: adaptado de Vargas & Diaz-Granados (1998)

Región	a	b	c	d
Andina (R ₁)	0.94	0.18	0.66	0.83

Fuente: autores.

$$I = 0.94 * \frac{T^{0.18}}{t^{0.66}} * M^{0.83}$$

(Ecuación 1)

Donde: M corresponde al promedio máximo anual de precipitación en 24 horas, el valor del parámetro T corresponde al periodo de retorno seleccionado en años y finalmente el factor t varía entre 5 y 100 minutos.

Construcción de Hietogramas de diseño – Método de los bloques alternos

Partiendo de las curvas intensidad–duración–frecuencia (IDF) generadas en el proceso anterior se procede a llevar a cabo el procedimiento para el cálculo de los hietogramas de diseño, mediante la metodología de bloques alternos. Como primer paso, se determinan los valores de la curva de masa de los hietogramas de diseño para diferentes duraciones para cada uno de los periodos de retorno seleccionados.

Estimación de caudales máximos

Para estimar los hidrogramas de diseño y estudiar el comportamiento de la cuenca se aplicó el modelo hidrológico HEC-HMS- Hydrologic Modeling System (USACE, 2000, 2018), desarrollado por

el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de EE.UU. El modelo permitió evaluar el balance hídrico, así como las condiciones hidrológicas y el comportamiento de los diferentes caudales. Este es un modelo de base física semi-distribuido que conceptualiza la cuenca por medio de unidades hidrológicas homogéneas, representando los procesos de interceptación, almacenamiento superficial, infiltración, escorrentía, caudal base y tránsito de hidrogramas. Cabe destacar que la modelación hidrológica integrada con datos *in-situ* permite una mejor comprensión de los procesos hidrológicos–hidrodinámicos, facilitando la evaluación de diversos escenarios reales e hipotéticos, ayudando a soportar y mejorar la toma de decisiones (Munar et al., 2018; 2019; 2022; 2023).

En el análisis de caudales se determinaron los caudales máximos instantáneos mediante la implementación del modelo HEC–HMS, apoyado en la aplicación de la metodología de los Hidrogramas Unitarios Sintéticos del SCS. Para determinar el caudal generado por la lluvia se aplicó el modelo lluvia-caudal del *Soil Conservation Service de los E.U.A.*, dado que el método racional sobrevalora el caudal cuando se usa en cuencas rurales con una extensión superior a 100 ha. Para el efecto, se definen las áreas aferentes, se selecciona el periodo de retorno del aguacero de diseño, se calcula el valor de la tormenta con el periodo de retorno requerido, se evalúan los

tiempos de concentración, se selecciona el Número de Curva CN el cual es un concepto similar al coeficiente de escorrentía y, finalmente, se calculan los caudales con diferentes períodos de retorno.

Período de retorno del aguacero de diseño

A fin de precisar el período de retorno del aguacero de diseño se determinaron crecientes con períodos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años, con el fin de disponer de los datos suficientes para desarrollar un estudio completo de la capacidad hidráulica del río y de la frecuencia de las crecientes.

Hidrograma Unitario del SCS. Método del Número de Curva

El *Natural Resources Conservation Service (NRCS)* conocido también como *Soil Conservation Service* desarrolló en la década de los setenta un método empírico para el cálculo de la transformación de

lluvia-escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente. Se observaron curvas al representarse en gráficos la profundidad de precipitación (P) y la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa (Pe). Para estandarizar estas curvas, se definió un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$; en superficies impermeables y de agua $CN = 100$; para superficies naturales $CN < 100$ y para superficie sin escurrimiento $CN = 0$.

La lluvia efectiva es el escurrimiento directo e inmediato que produce una lluvia sobre una determinada cuenca y resultan igual a la lluvia total menos las pérdidas de agua. Estas pérdidas poseen tres componentes:

- Interceptación por parte de la vegetación.
- Detención superficial.
- Infiltración.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfométrica y fisiográfica de la cuenca

Área de drenaje de la cuenca (AD)

En la Figura 1 se presentan el área de drenaje de la cuenca, la cual fue estimada en 151.36 km².

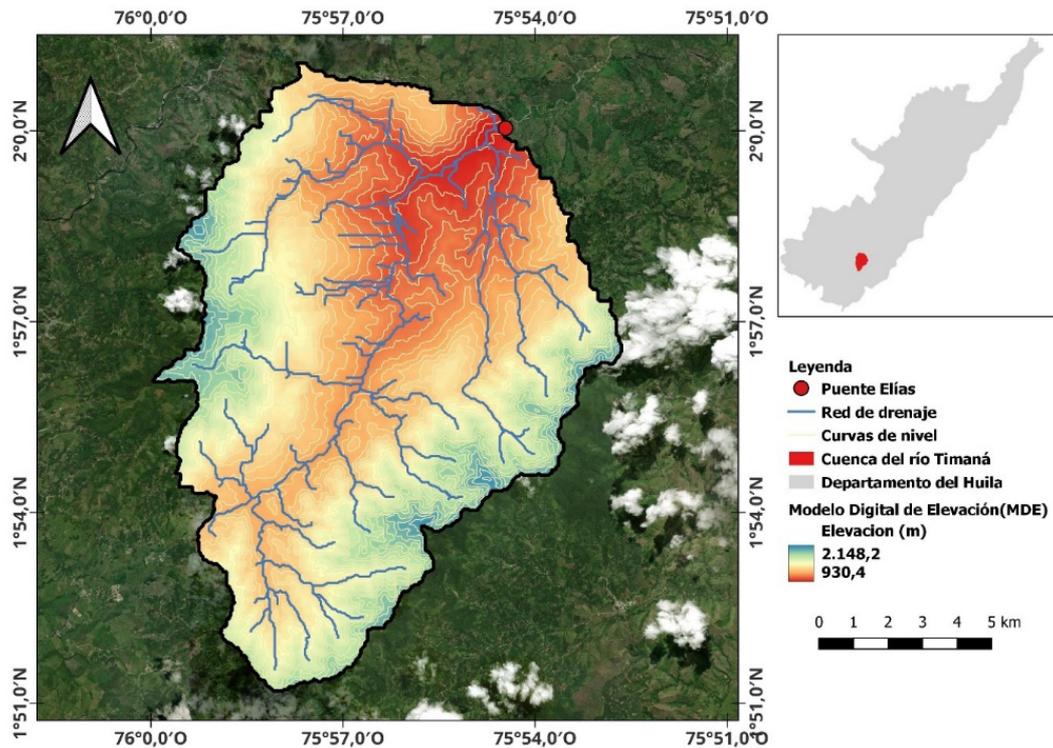


Figura 1. Delimitación del área de la cuenca del río Timaná

Fuente: autores

En la Tabla 2 se presenta el resumen los parámetros de forma de la cuenca analizada:

Tabla 2. Parámetros de forma de la cuenca del río Timaná

Perímetro (Km)	Longitud recta de la cuenca (Km)	Ancho de la cuenca (w) [km]	Índice de Gravelius	Factor de Forma Kf	Índice de alargamiento IA
74,26	16,45	12,255	1,7027	0,5591	1,3426

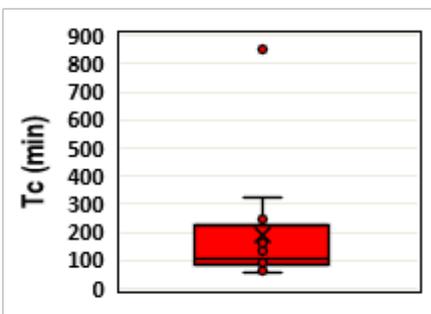
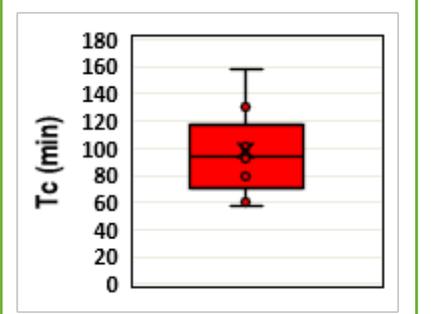
Fuente: autores

El índice de Gravelius es un parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico. Para el caso de la cuenca analizada, los resultados obtenidos ($IG > 1.5$) demuestran una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga que con un Factor de Forma ($kf > 1$), revelan que la cuenca tiende a ser

alargada con baja susceptibilidad a las avenidas (A.U. et al., 2021).

Así mismo, fue determinado el tiempo de concentración (Tabla 3), el cual es utilizado extensivamente en el diseño hidrológico para determinar la capacidad hidráulica máxima de diferentes estructuras. Se trata de variables que son propias para cada sitio y que dependen de las características geomorfológicas de la cuenca y de la lluvia (Vélez y Botero, 2011).

Tabla 3. Tiempos de concentración estimados para la cuenca del río Timaná

No	Método	Cuenca río Timaná	Cuenca río Timaná (eliminando valores extremos <i>Outliers</i>)
		(Tc en minutos)	(Tc en minutos)
1	Kirpich	93,225	93,225
2	Giandotti	158,792	158,792
3	Scs-Ranser	60,688	60,688
4	California Culvert Practice	93,723	93,723
5	Témez	103,387	103,387
6	V.T Chow	79,713	79,713
7	Clark	853,466	
8	Passini	322,852	
9	Bransby-Williams	244,769	
10	Kerby – Hathaway	58,050	58,050
11	Método Racional Generalizado	130,408	130,408
12	Ventura - Heras	101,036	101,036
Promedio		191,676	97,669
Desviación estándar		222,726	31,912
Diagrama Box Plot			

Fuente: autores

Caracterización hidro-climática

Para la caracterización hidro-climática fueron seleccionadas las siguientes estaciones: EL VISO 21020040, PUENTE SA-

LADOBLANCO 21020050, LAGUNA LA 21010040 e INSFOPAL 21010110. Estas son las estaciones que se encuentran dentro o cerca de la zona estudiada (Figura 2).

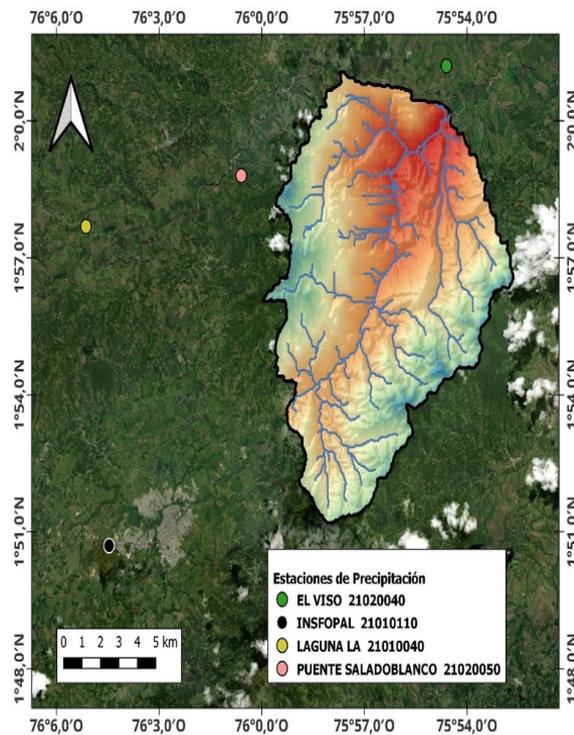


Figura 2. Localización de las estaciones pluviométricas utilizadas en el análisis de precipitación
Fuente: autores.

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se presentan los pluviogramas con los valores diarios de precipitación para las cuatro estaciones analizadas, donde se observa una amplia variabilidad en las estaciones analizadas.

Los valores máximos de precipitación se presentan en la estación Puente Salado blanco, con un máximo de 170 mm ocurrido en junio de 2010.

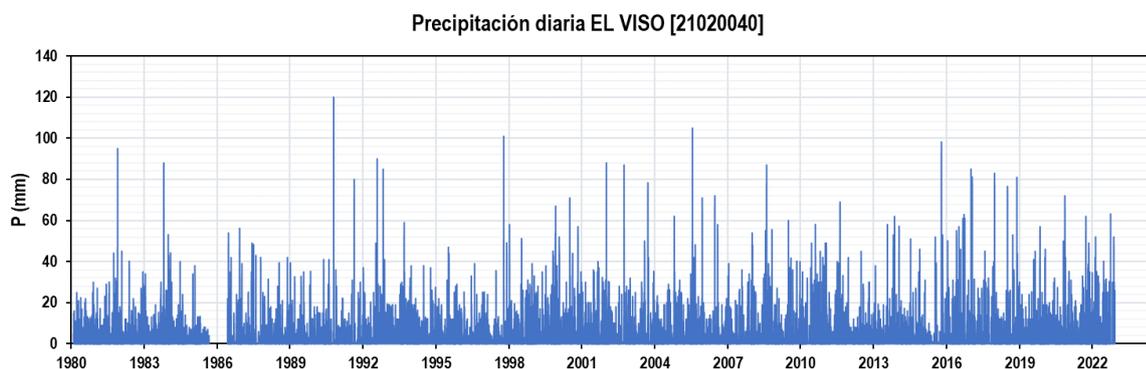


Figura 3. Valores diarios de precipitación en la estación EL VISO 21020040
Fuente: autores.

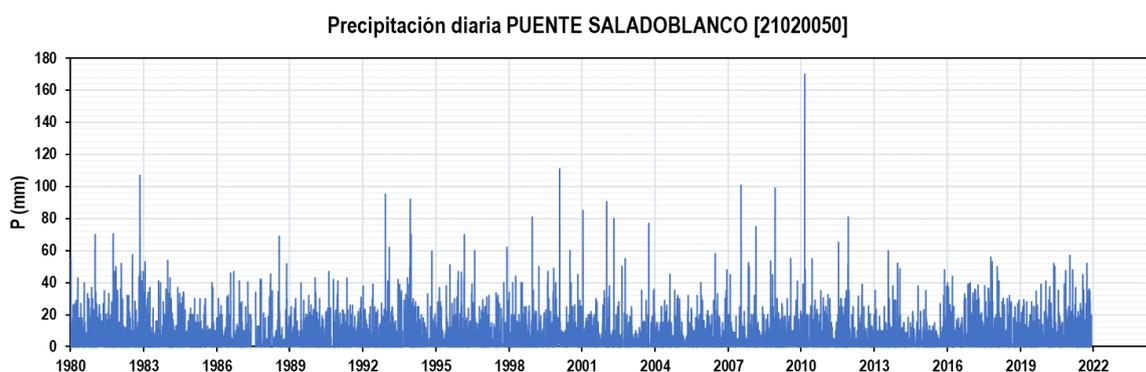


Figura 4. Valores diarios de precipitación en la estación PUENTE SALADOBLANCO 21020050
Fuente: autores.

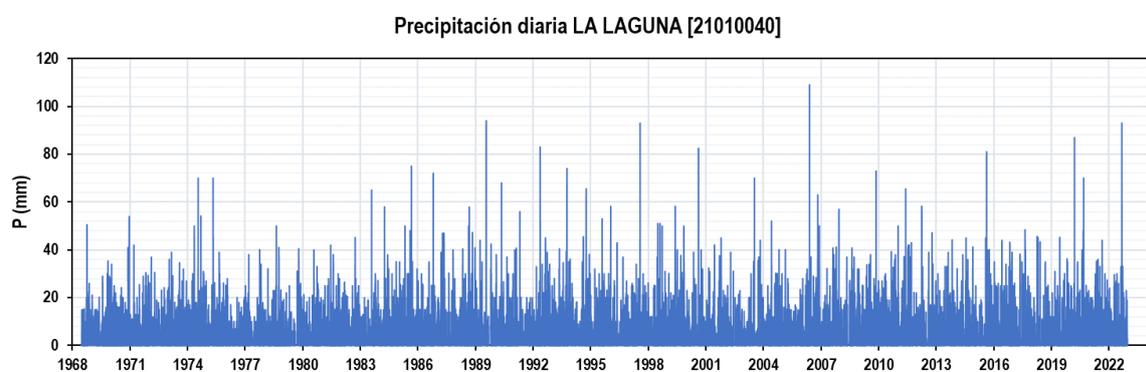


Figura 5. Valores diarios de precipitación en la estación LAGUNA LA 21010040
Fuente: autores.

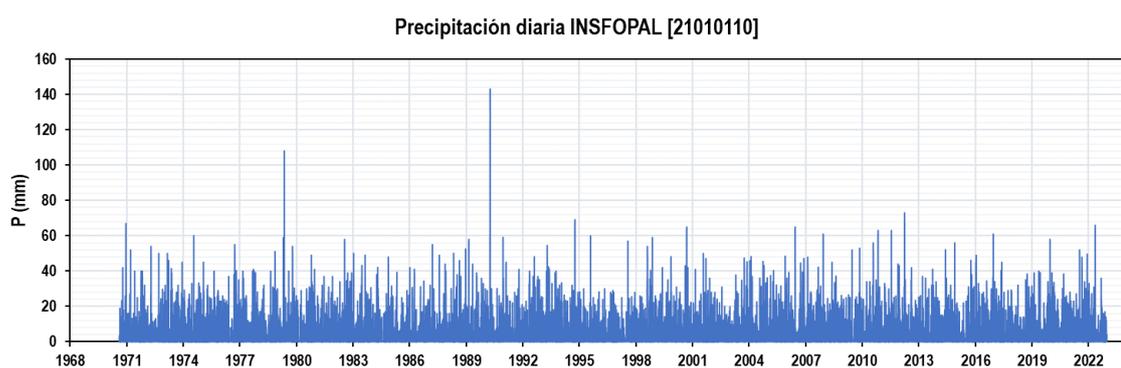


Figura 6. Valores diarios de precipitación en la estación INSFOPAL 21010110
Fuente: autores.

Espacialización de la lluvia y determinación del valor de M

En la Figura 7 se evidencian los resultados obtenidos para la espacialización de la lluvia mediante el método de interpola-

ción IDW para las estaciones analizadas, donde la precipitación máxima en 24h para la microcuenca estudiada oscila entre 59,12mm y 65,89mm con un promedio de 62,7mm.

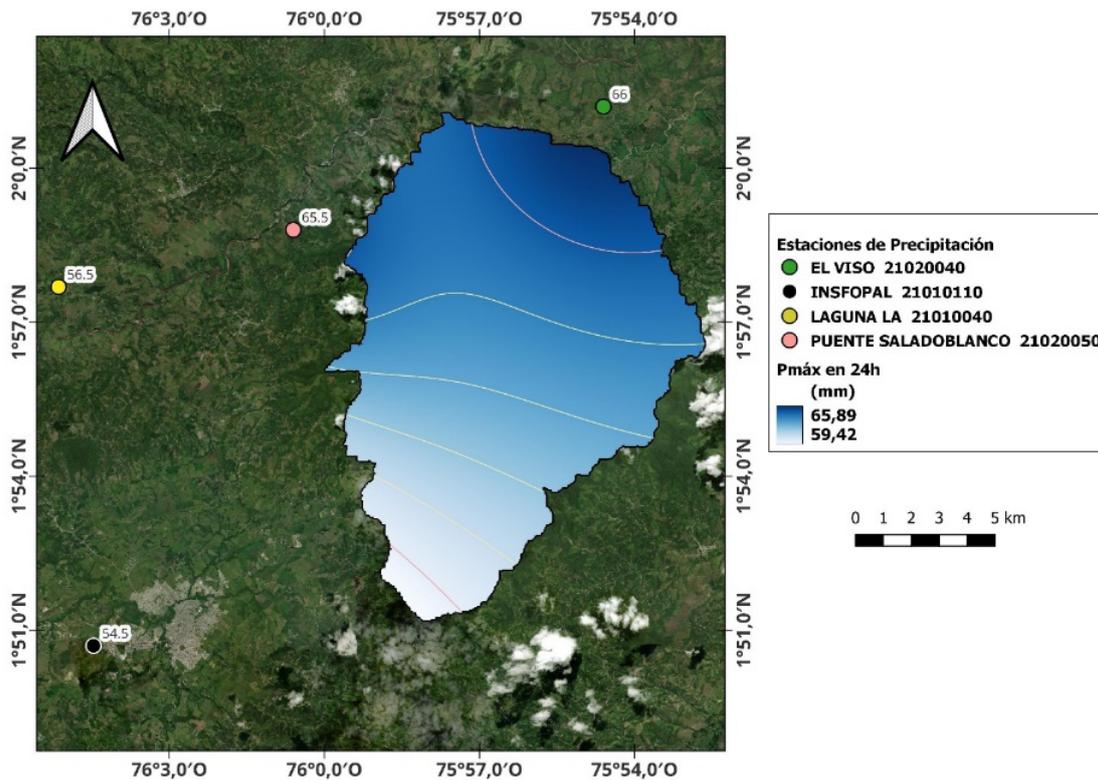


Figura 7. Interpolación de valores de lluvia mediante el método de IDW para las estaciones analizadas

Fuente: autores.

En este sentido el valor de M es igual al valor medio de la variable especializada (P max 24h) para la cuenca, corresponde a 62,7 mm.

Generación de series de lluvia sintéticas—Método regionalizado curvas IDF

En la Figura 8 se presentan las curvas IDF para diferentes periodos de retorno (2,5,10,25,50,100 y 500 años).

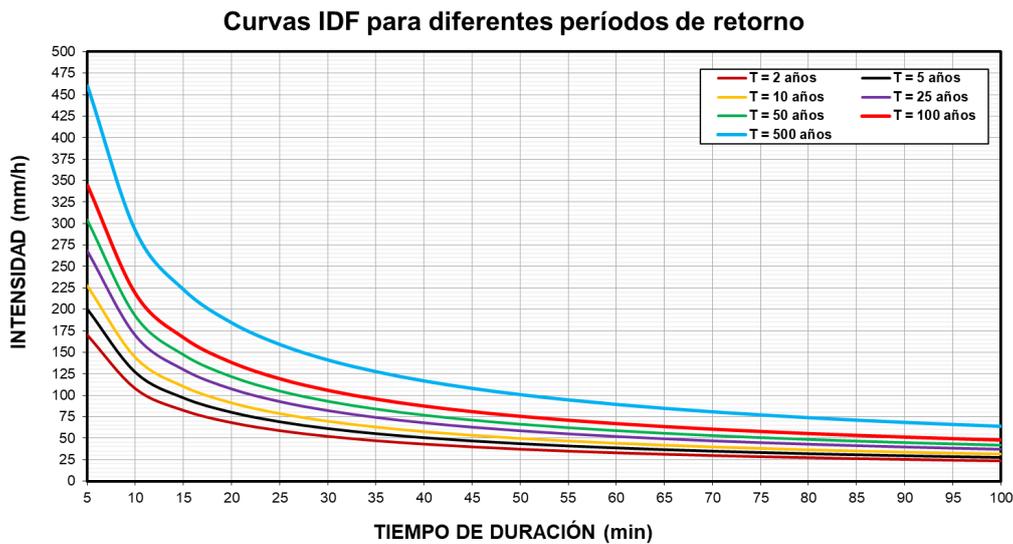


Figura 8. Curvas IDF para diferentes períodos de retorno
Fuente: autores.

Construcción de Hietogramas de diseño—Método de los bloques alternos

Partiendo de las curvas intensidad–duración–frecuencia (IDF) generadas en el proceso anterior, se procede a llevar a cabo el procedimiento para el cálculo de los hietogramas de diseño mediante la metodología de bloques alternos. Cabe

destacar que el hietograma proporciona información detallada sobre la variación temporal de la lluvia, lo que es fundamental para el diseño y la evaluación de infraestructuras hidrológicas y sistemas de drenaje, como alcantarillado pluvial, presas y sistemas de control de inundaciones. En las figuras 9, 10, 11 y 12 se presentan los hietogramas para diferentes períodos de retorno analizados:

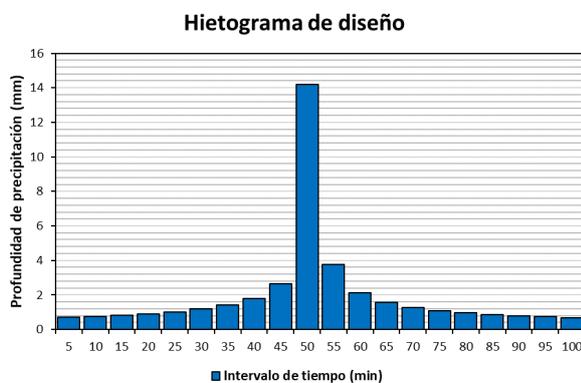


Figura 9. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 2 años
Fuente: autores.

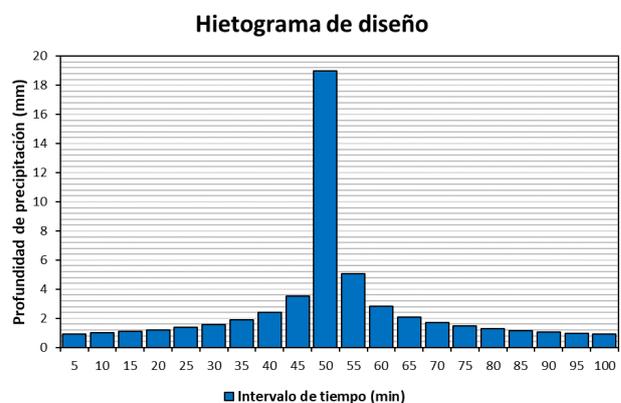


Figura 10. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años
Fuente: autores.

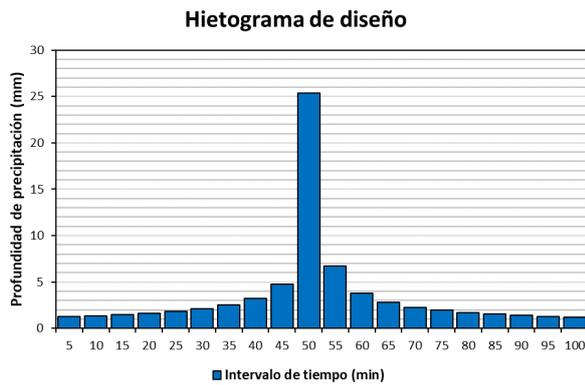


Figura 11. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años
Fuente: autores.

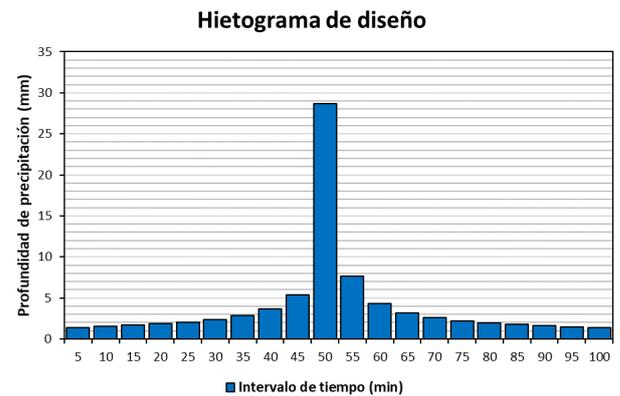


Figura 12. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años
Fuente: autores.

Corrección por representatividad de área–Factor de Reducción por Área FRA

Es de suma importancia aclarar que las tormentas no son simultáneas en toda el área de estudio y que al ir aumentando el área la simultaneidad se ve más afectada. Esto conlleva a buscar herramientas como los factores de reducción por área, que son aplicados a valores de precipitación puntual que dan como resultado una precipitación distribuida en una zona definida, considerando la duración y el periodo de retorno (González, 2012; Rubiano, 2021). En este sentido se realizó la aplicación de un factor de espacialidad promedio de la lluvia de 0,75 con el fin de representar la distribución espacial de la

lluvia en la zona estudiada. Para seleccionar este valor se parte del concepto según el cual una lluvia puntual abarca aproximadamente hasta unos 25 km². Finalmente, este valor se aplica a los hietogramas organizados por medio del método de los bloques alternos para obtener los hietogramas de diseño (Sanabria, 2019).

Estimación de caudales máximos

A continuación, en la Tabla 4 se presentan los resultados del valor de curva número CN estimado para la cuenca analizada, apoyado en el mapa de coberturas *Corine Land Cover* para el departamento del Huila.

Tabla 4. Determinación del cubrimiento vegetal y del valor CN para la cuenca analizada

Descripción		Pendiente (%)	Porcentaje (%)	Grupo de suelo	Humedad antecedente	CN
Montaña:	39,64%	18	39,64%	C	Condición II	
Área =						

Descripción		Pendiente (%)	Porcentaje (%)	Grupo de suelo	Humedad antecedente	CN
Bosque denso alto			33,70%		Condición II	80
arbustos			3,96%	C	Condición II	80
pasto			1,98%	C	Condición II	76
abanico: Área =	55,09%	8	55,09%	C	Condición II	
arbustos			24,79%	C	Condición II	80
pasto			30,30%	C	Condición II	76
planicie: Área =	5,27%	1	5,27%	C	Condición II	
arbustos			1,74%	C	Condición II	76
viviendas			1,74%	C	Condición II	90
pavimentos			1,79%	C	Condición II	90
Valor final			100%			79,00

Fuente: autores.

Los resultados demuestran que el valor estimado de curva número CN para la cuenca analizada corresponde a 79,00.

Así mismo, el tiempo de retardo o retraso (*lag*) para la cuenca analizada corresponde a lo descrito en la Tabla 5.

Tabla 5. Cálculo del tiempo de retardo para la cuenca analizada

Cuenca del río Timaná	(Tc en minutos)	Tiempo de retardo (min)
Promedio	97,669	58,60

Fuente: autores.

En la Figura 13 se presentan los resultados de la estimación de caudales máxi-

mos a través del modelo HEC-HMS para la cuenca analizada.

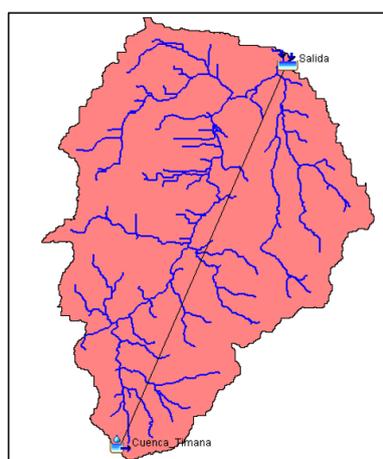


Figura 13. Representación de la cuenca del río Timaná en el modelo HEC-HMS

Fuente: autores.

En las figuras 14, 15, 16 y 17, se presentan los hidrogramas obtenidos para los dife-

rentes tiempos de retorno TR (2, 10, 50 y 100) estimados para la cuenca analizada.

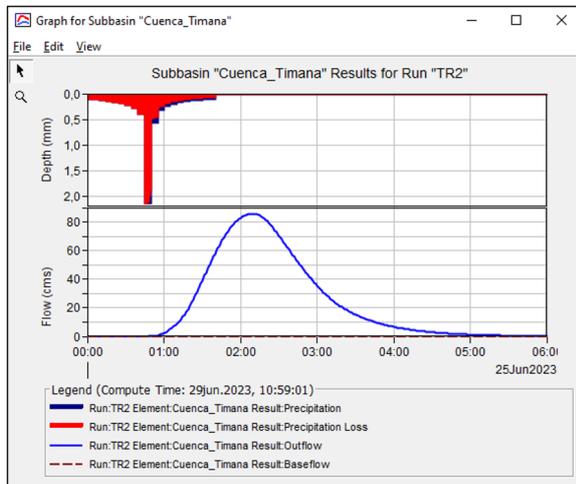


Figura 14. Hidrograma de la creciete con un período de retorno TR = 2 años en la cuenca del río Timaná.
Fuente: autores.

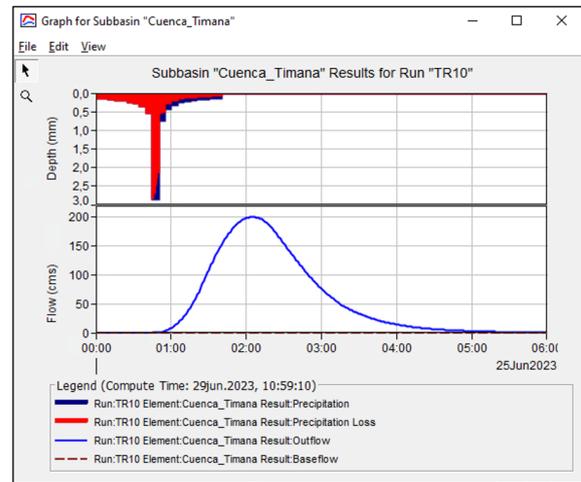


Figura 15. Hidrograma de la creciete con un período de retorno TR = 10 años en la cuenca del río Timaná.
Fuente: autores.

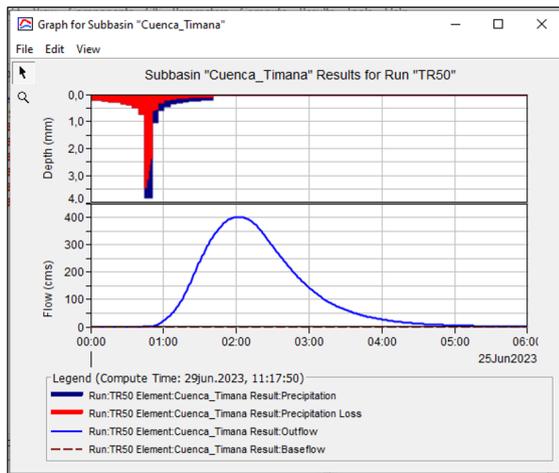


Figura 16. Hidrograma de la creciete con un período de retorno TR = 50 años en la cuenca del río Timaná.
Fuente: autores.

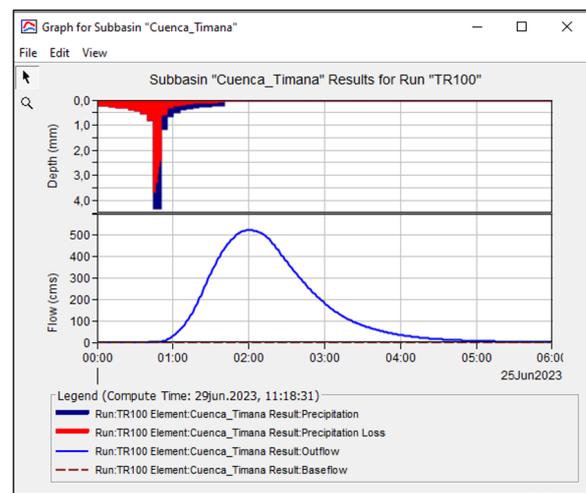


Figura 17. Hidrograma de la creciete con un período de retorno TR = 100 años en la cuenca del río Timaná.
Fuente: autores.

Los caudales fueron obtenidos para las crecientes analizadas con los parámetros indicados para la cuenca analizada. En la Tabla 6 se presenta el resumen de

los resultados de la estimación de caudales máximos con períodos de retorno de 2,10, 50 y 100 años obtenidos a través de HEC-HMS.

Tabla 6. Caudales máximos obtenidos para la cuenca del río Timaná a través de HEC-HMS asociados a diferentes tiempos de retorno

Ítem	Cuenca	Caudales Máximos (m ³ /s)			
		Tr = 2 años	Tr = 10 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
1	Cuenca del río Timaná	85,8	200,2	401,0	523,6

Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

Este estudio consistió en la evaluación de la dinámica hidrológica de la cuenca del río Timaná, localizada en la parte alta de la cuenca del río Magdalena, con el objetivo de estimar caudales máximos a partir de precipitaciones extremas y sus respuestas hidrológicas. Para tal fin se realizó (1) la determinación de las características morfométricas y fisiográficas de la cuenca, (2) la caracterización hidroclimática y (3) la estimación de caudales máximos a través de la modelación hidrológica utilizando el software HEC-HMS.

Con relación al análisis hidrológico de la cuenca del río Timaná, el área de drenaje estimada corresponde a 151,36 Km². Los resultados obtenidos a partir del análisis morfométrico indican que cada cuenca presenta forma alargada, con baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales y con capacidad de absorber mejor una alta precipitación sin generar una crecida de grandes proporciones.

Adicionalmente, los caudales máximos en la cuenca hidrográfica analizada fueron estimados usando modelación hidrológica mediante el software HEC-HMS.

Los resultados de la estimación de caudales máximos revelan que los caudales máximos obtenidos para la cuenca analizada y asociados a los periodos de retorno 2, 10, 50 y 100 años, corresponden a 85,8, 200,2, 401,0 y 523,6 m³/s respectivamente. Estos resultados para diferentes periodos de retorno están en el orden de los esperados para cuencas con características fisiográficas y morfométricas similares. La selección del período de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio. Así mismo, según la norma RAS 2000, el período de retorno de diseño también debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, etc.

Los resultados de este estudio demuestran la utilidad del modelo HEC-HMS para la estimación de caudales máximos en la cuenca, proporcionando así información valiosa para la toma de decisiones y generación de estrategias de gestión de los recursos hídricos y la gestión del

riesgo de desastres. Así mismo, los resultados de las modelaciones para estimar los caudales máximos en la cuenca serán cruciales para la gestión del riesgo en los casos más críticos de emergencia invernal, permitiendo generar pronósticos hidrológicos y conocer escenarios de riesgo para efectuar las acciones de prevención

y control requeridas una vez la población ya esté alertada del peligro latente, dirigida a orientar las acciones e intervenciones sobre el territorio y reducir los efectos adversos sobre la población y las actividades económicas asociadas

REFERENCIAS

- A.U., A., K.R., B., Thomas, P. K., Anns, M., P.B., R., & Babu, S. (2021). Status of GIS-enabled morphometric analysis of river basins of Kerala, Southern India: A review and assessment. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101792. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101792>
- Ávila, Á., Guerrero, F., Escobar, Y., & Justino, F. (2019). Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes. *Water*, 11(2), 379. <https://doi.org/10.3390/w11020379>
- Chathuranika, I. M., Gunathilake, M. B., Baddewela, P. K., Sachinthanie, E., Babel, M. S., Shrestha, S., Jha, M. K., & Rathnayake, U. S. (2022). Comparison of Two Hydrological Models, HEC-HMS and SWAT in Runoff Estimation: Application to Huai Bang Sai Tropical Watershed, Thailand. *Fluids*, 7(8), 267. <https://doi.org/10.3390/fluids7080267>
- Elgamal, A., Reggiani, P., & Jonoski, A. (2017). Impact analysis of satellite rainfall products on flow simulations in the Magdalena River Basin, Colombia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 9, 85–103. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.001>
- Giraldo-Osorio, J., Trujillo-Osorio, D., & Báez-Villanueva, O. (2022). Analysis of ENSO-Driven Variability, and Long-Term Changes, of Extreme Precipitation Indices in Colombia, Using the Satellite Rainfall Estimates CHIRPS. *Water*, 14(11), 1733. <https://doi.org/10.3390/w14111733>
- González, S. (2012). *Estimación de Factores de Reducción por Área. Aplicación a la Cuenca del Río Pánuco*. [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de México.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM). (2019a). *DHIME - Manual de Usuario Consulta y Descarga de datos hidrometeorológicos* - IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM). (2019b). Estudio Nacional del Agua 2018. *Instituto de Hidrología, Meteorología*

- logía y Estudios Ambientales Marzo de 2019*. IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM). (2023). *Estudio Nacional del Agua 2022*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/anexos-estudio-nacional-del-agua-20221>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2023). *Modelo Digital de Elevación. SRTM 30 Metros. Colombia. Año 2011*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC. <https://www.colombiainmapas.gov.co/>
- Jiménez-Segura, L. F. y Lasso, C. A. (2021). *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://doi.org/10.21068/A2020RRHXIX>
- Li, P., Wang, D., Li, W., & Liu, L. (2022). Sustainable water resources development and management in large river basins: an introduction. *Environmental Earth Sciences*, 81(6), 179. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10298-9>
- Logah, F. Y., Obuobie, E., Adjei, K. A., Gyamfi, C., & Odai, S. N. (2023). Capability of satellite rainfall products in simulating streamflows in the Black Volta Basin. *Sustainable Water Resources Management*, 9(3), 96. <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00871-w>
- Munar, A. M., Cavalcanti, J. R., Bravo, J. M., da Motta-Marques, D., & Frago- so, C. R. (2019). Assessing the large- scale variation of heat budget in poorly gauged watershed-shallow lake system using a novel integrated modeling approach. *Journal of Hydrology*, 575, 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.025>
- Munar, A. M., Cavalcanti, J. R., Bravo, J. M., Fan, F. M., Motta-Marques, D. da, & Frago- so, C. R. (2018). Coupling large-scale hydrological and hydrodynamic modeling: Toward a better comprehension of watershed-shallow lake processes. *Journal of Hydrology*, 564, 424–441. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.045>
- Munar, A. M., Méndez, N., Narváez, G., Campo Zambrano, F., Breda, J. P., Da Motta-Marques, D., Angarita, H., & Fleischmann, A. (2023). Modelling the climate change impacts on river discharge and inundation extent in the Magdalena River basin – Colombia. *Hydrological Sciences Journal*, 1(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2215932>
- Munar, A. M., Méndez, N., & Vinasco, M. (2022). *Gestión integrada de la cuenca alta del río Magdalena: instrumentos para su evaluación y planificación*. UNAD.
- Parra-Orobio, B. A., Soto-Paz, J., Ramos-Santos, A., Sanjuan-Quintero, K. F., Saldaña-Escorcía, R., Domínguez-Rivera, I. C., & Sánchez, A. (2023). Assessment of the Water Footprint in Low-Income Urban Neighborhoods from Developing Countries: Case Study Fátima (Gamarra, Colombia). *Sustainability*, 15(9), 7115. <https://doi.org/10.3390/su15097115>

- QGIS. (s.f.). <https://www.qgis.org/es/site/forusers/download.html>
- Rodríguez, A. (2012). Evaluación de las simulaciones de precipitación y temperatura de los modelos climáticos globales del proyecto CMIP5 con el clima presente en Colombia. *Ideam-Meteo*, 34. <http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Niveles/Definiciones.pdf>
- Rubiano, F. (2021). *Factor de Reducción por Área de Cobertura para Tormentas en la ciudad de Bogotá*. [Tesis de Maestría]. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Sanabria, J. (2019). *Guía metodológica para el análisis de la gestión de embalses. Caso de estudio embalse la copa*. [Tesis de Maestría]. Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Singh, P., Thakur, J. K., & Singh, U. C. (2013). Morphometric analysis of Morar River Basin, Madhya Pradesh, India, using remote sensing and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*, 68(7), 1967–1977. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1884-8>
- Siqueira, V., Fleischmann, A., Jardim, P., Fan, F., & Collischonn, W. (2016). IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in an open-source environment. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(1), 274–287. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p274-287>
- Tavares, M. H., Cunha, A. H. F., Motta-Marques, D., Ruhoff, A. L., Cavalcanti, J. R., Frago, C. R., Bravo, J. M., Munar, A. M., Fan, F. M., & Rodrigues, L. H. R. (2019). Comparison of methods to estimate lake-surface-water temperature using landsat 7 ETM+ and MODIS imagery: Case study of a large shallow subtropical lake in Southern Brazil. *Water (Switzerland)*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/w11010168>
- Tavares, M. H., Cunha, A. H. F., Motta-Marques, D., Ruhoff, A. L., Frago, C. R., Munar, A. M., & Bonnet, M. P. (2020). Derivation of consistent, continuous daily river temperature data series by combining remote sensing and water temperature models. *Remote Sensing of Environment*, 241(June 2019), 111721. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111721>
- U.S. Army Corps of Engineers. (2018). HEC-HMS: Hydrologic modeling system. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- USACE. (2000). Hydrologic Modeling System HEC - HMS - Technical Reference Manual. *Hydrologic Engineering Center*.
- USACE. (2018). Hydrological Modeling System HEC-HMS - User's Manual Version 4.3. *Davis, CA: Hydrologic Engineering Center*.
- Vargas, M. R., y Díaz-Granados, O. M. (1998). *Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia*.
- Vélez, J. J., y Botero, A. (2011). *Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales*. DYNA.

Werner, M., Loaiza, J. C., Rosero Mesa, M. C., Faneca Sánchez, M., de Keizer, O., & Sandoval, M. C. (2016). Developing Flood Forecasting Capabilities in

Colombia (South America). In *Flood Forecasting* (pp. 349–368). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801884-2.00012-8>



Licencia de Creative Commons

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

