

Revista Universidad Católica de Oriente Fundada en 1985

La Revista es el órgano de producción científica, tecnológica y cultural de la Universidad Católica de Oriente. Publica semestralmente contribuciones inéditas y originales como resultados de investigación y de reflexión en las distintas áreas del conocimiento. Está dirigida a la comunidad académica y científica en los ámbitos nacional e internacional.

Volumen 34 - Número 51, Enero – Junio 2023

ISSN: 0121-1463 (impreso)

ISSN: 2500-5553 (en línea)

Periodicidad semestral

Publicación

Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente

Canciller

Mons. Fidel León Cadavid Marín

Rector

Pbro. Elkin de Jesús Narváez Gómez, Pbro.

Directora académica

Mag. Angela María Velázquez Valderrama

Director de Investigación y Desarrollo

PhD. David Alejandro Granados Morales

Director Revista

Juan Carlos González Sánchez

Decano Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carlos Leonardo Guerra Marín

Editor

Juan Carlos González Sánchez
Universidad Católica de Oriente

Editores Invitados

Carlos Leonardo Guerra Marín

Comité Editorial

Dra. Berta Miriam Gaviria Gutiérrez
Dr. Jhon Jairo Serna Sánchez
Mag. Luisa Fernanda Montoya
Mag. Diego Andrés Vélez
Mag. Yohany Andrés Álvarez Rodríguez
Mag. Jesús David Vallejo Cardona
Mag. Mary Estela Ospina Henao

Corrector de textos

Juan Ricardo Molina Rúa

Diagramación y diseño

Ángela María Pérez Löffsner

Canje

Biblioteca Universidad Católica de Oriente
Sector 3 Carrera 46 n.º 40 B 50
Correo electrónico: biblioteca.jefe@uco.edu.co
PBX. 569 90 90. Ext. 310 - 233
Rionegro – Antioquia (Colombia)

Publicación

Revista Universidad Católica de Oriente
Especial Ciencias Agropecuarias
Volumen 34 - Número 51, Enero – Junio 2023



El contenido de todos los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores quienes deben garantizar, dentro del marco de la confianza, la originalidad de sus manuscritos, y no comprometen a la Universidad ni a la Revista. Los artículos pueden ser reproducidos total o parcialmente citando la fuente.

Revista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE

*Revista Universidad Católica de Oriente.
Vol. 34 • N.º 51 • Enero - Junio 2023
Rionegro - Antioquia, Colombia
157 páginas*

Contenido

Número especial
**CIENCIAS
AGROPECUARIAS**

7 Editorial

Carlos Leonardo Guerra Marín

9 Efecto de la adición de tres bases sobre el desarrollo de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) durante su etapa vegetativa en asocio con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y su desempeño zootécnico en un sistema acuapónico

Santiago Ceballos-Bedoya, Carlos Santiago Escobar-Restrepo, Daniel Gallego-Bustamante

38 Efectos de la carnitina como aditivo sobre el desempeño productivo en juveniles de tilapia (*Oreochromis* sp) cultivados en un sistema de recirculación de agua

Daniela Castrillón-Bedoya, Jenifer Gutiérrez-Osorio, Carlos Santiago Escobar-Restrepo, Daniel Gallego-Bustamante

61 Evaluación del efecto fitotóxico de diferentes funguicidas con base en triazoles y estrobirulinas en Crisantemo (*Chrysanthemum* sp.)

Andrés Felipe Guerra Quintero, Dagoberto Castro Restrepo, Carlos Leonardo Guerra Marín

94 Ganancia de peso en bovinos cebuinos con inclusión en la dieta de bloques nutricionales con base de *Gliricidia sepium*

Julián A. Montes, Juliana Saldarriaga, Carlos Leonardo Guerra Marín

108 Evaluación de los parámetros productivos y reproductivos en ovinos de la raza *Katahdin* y *Dorset* en el suroeste de Antioquia

Elizabeth Vélez Suárez, Carlos Leonardo Guerra Marín

126 Evaluación de alternativas de manejo y control de la especie vegetal ojo de poeta (*Thunbergia alata*) en el Oriente de Antioquia

Yesica Alejandra Ospina Idárraga, Yuli Alejandra Pérez Grajales, Rubén Darío David

141 Productividad del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum*): comparación de tres productos experimentales y una línea comercial de NPK en el norte de Antioquia

Alejandro Arias Giraldo, Sebastián Montoya Uribe, Carlos Leonardo Guerra-Marín

Editorial

La *Revista Universidad Católica de Orientese* enorgullece en presentar su más reciente edición, dedicada a proyectos de investigación que abordan los desafíos cruciales del sector agropecuario en el Orienteantioqueño. Esta publicación refleja el firme compromiso de nuestra institución con el avance científico y el desarrollo sostenible de la región.

Los artículos aquí compilados son el resultado de rigurosas investigaciones realizadas por nuestros estudiantes y profesores, en estrecha colaboración con diversos actores del sector agropecuario. Cada proyecto no solo contribuye al acervo de conocimiento científico, sino que también propone soluciones prácticas y sostenibles a los retos que enfrenta nuestra región en términos de producción agrícola, ganadería, conservación ambiental y desarrollo rural.

En un contexto global, donde se busca equilibrar el crecimiento económico con la preservación del medio ambiente, estas investigaciones adquieren una relevancia singular. Los estudios abarcan un amplio espectro, desde técnicas innovadoras de cultivo y manejo pecuario hasta estrategias de conservación de recursos naturales, todos alineados con los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas.

Extendemos una cordial invitación a nuestros lectores —sean académicos, profesionales del sector, formuladores de políticas o estudiantes— a explorar estas páginas con espíritu crítico y mente abierta. Confiamos en que los hallazgos y propuestas aquí presentados no solo estimularán el debate académico, sino que también inspirarán acciones concretas hacia un futuro más sostenible y próspero para el OrienteAntioqueño y, por extensión, para Colombia.

Esta edición es un testimonio del potencial innovador de nuestra región y un llamado a la acción colectiva. Expresamos nuestro sincero agradecimiento a todos los investigadores, colaboradores y revisores que han hecho posible esta publicación.

En la primera sección, se destacan investigaciones agronómicas enfocadas en mejorar los procesos de producción agrícola. Un estudio innovador examina el impacto de la adición de tres bases en el desarrollo vegetativo de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) en un sistema acuapónico asociado con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Este enfoque integrado no solo optimiza el uso de recursos, sino que también ofrece soluciones sostenibles para incrementar la productividad tanto vegetal como acuícola en una sola unidad de producción.

Otro trabajo significativo evalúa el efecto fitotóxico de fungicidas a base de triazoles y estrobilurinas en el cultivo de crisantemo (*Chrysanthemum* sp.). Este estudio aborda la problemática del uso excesivo de productos químicos en un cultivo ornamental de alta importancia económica, ofreciendo una perspectiva novedosa sobre el manejo seguro de estos insumos y su impacto en el desarrollo de la planta. El objetivo es mejorar la eficiencia productiva sin comprometer la calidad del cultivo.

Complementando estos estudios, se presenta una evaluación de la nutrición basada en NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) y su incidencia en la productividad del maíz (*Zea mays*). Esta investigación es crucial para optimizar el manejo de fertilizantes y, consecuentemente, los rendimientos del cultivo, aspecto fundamental en una región donde el maíz es pilar de la seguridad alimentaria y la economía local.

La segunda sección se centra en la producción pecuaria, comenzando con un estudio sobre el uso de carnitina como aditivo en juveniles de tilapia (*Oreochromis* sp.) cultivados en sistemas de recirculación de agua. Esta investigación busca mejorar la eficiencia alimentaria y el crecimiento de esta especie de alto valor comercial en la piscicultura colombiana, contribuyendo así al desarrollo sostenible del sector acuícola.

Otro reporte relevante analiza la ganancia de peso en bovinos cebuinos mediante la inclusión de bloques nutricionales basados en *Glyricidia sepium*. Este estudio responde a la necesidad de mejorar la alimentación y, por ende,

la productividad de los sistemas ganaderos, proponiendo alternativas más eficientes y sostenibles para la nutrición bovina en la región.

Adicionalmente, se presenta una investigación que evalúa los parámetros productivos y reproductivos de las razas ovinas *Katahdin* y *Dorset* en el suroeste de Antioquia. Este trabajo proporciona información fundamental para mejorar la producción de carne ovina, un sector con creciente demanda en el mercado nacional; también identifica mejores prácticas de manejo que optimizan tanto la producción como la reproducción de estos animales.

Finalmente, la revista aborda un tema crítico para la sostenibilidad ambiental regional: el manejo y control de la especie vegetal invasora ojo de poeta (*Thunbergia alata*). Este estudio propone estrategias de control sostenibles y efectivas para mitigar el impacto de esta especie en el ecosistema agropecuario del Orienteantioqueño.

En conjunto, estos trabajos de investigación reflejan el compromiso de la Universidad Católica de Oriente, sus docentes y estudiantes con el desarrollo de soluciones innovadoras que contribuyen al crecimiento y sostenibilidad del sector agropecuario. Cada estudio presentado representa una contribución valiosa al conocimiento científico y a la mejora de las prácticas en el campo, promoviendo un desarrollo más eficiente y responsable en la región.

Carlos Guerra

Efecto de la adición de tres bases sobre el desarrollo de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) durante su etapa vegetativa en asocio con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y su desempeño zootécnico en un sistema acuapónico

*Effect of the addition of three bases on the development of leek onion (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) during its vegetative stage in association with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and its performance in an aquaponic system*

Por Santiago Ceballos-Bedoya¹, Carlos Santiago Escobar-Restrepo², Daniel Gallego-Bustamante³

1 Estudiante de pregrado en Zootecnia Universidad Católica de Oriente. <https://orcid.org/0009-0005-3486-3255>

2 Grupo de Investigación INCA-CES, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES, CI 10A #22 - 04, Medellín, Antioquia, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-3955-484X>

3 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente. Semillero de nutrición, alimentación y reproducción (SENAR). <https://orcid.org/0009-0005-9717-0907>

Resumen

El experimento consistió en evaluar el impacto de tres bases distintas aplicadas en un sistema acuapónico para observar el desarrollo de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) en su etapa vegetativa, al mismo tiempo que se midió el desempeño de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). El objetivo principal de la investigación fue determinar cuál de las bases tuvo el mejor efecto sobre las variables del cultivo como longitud de hoja, longitud del tallo, crecimiento radicular y número de hojas, así como el crecimiento de los peces, se midió el peso y su longitud. Los tratamientos aplicados de manera aleatoria, en nueve unidades experimentales fueron: bicarbonato de sodio (NaHCO_3), cal dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e

hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Se utilizaron un total de 45 tilapias y 405 plántulas de cebolla puerro. También se midieron parámetros del agua como pH, temperatura, oxígeno disuelto, amonio, nitritos y nitratos. Los resultados obtenidos indican que los tanques tratados con bicarbonato de sodio presentaron un mejor desempeño en cuanto a la elongación de hoja, elongación de tallo y número de hojas. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos en cuanto al crecimiento de los peces. Por otro lado, los tanques tratados con cal dolomita mostraron el mejor promedio de nitritos (NO_3^-) en comparación con los demás tratamientos.

Palabras clave

Acuaponía, Alcalinidad, Buffer, Tilapia, Cebolla Puerro.

Abstract

The experiment consisted of evaluating the impact of three different limes applied in an aquaponic system to observe the development of leek onion (*Allium ampeloprasum var. porrum*) in its vegetative stage, while also measuring the performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The main objective of the research was to determine which of the limes had the best effect on crop variables such as leaf length, stem length, root growth, and numbers of leaves, as well as fish growth, which was measured by weight and length. The treatments applied, randomly, in nine experimental units were: sodium bicarbonate (NaHCO_3), dolomitic lime ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$,

and calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). A total of 45 tilapias and 405 leek onion seedlings were used. Water parameters such as pH, temperature, dissolved oxygen, ammonia, nitrites, and nitrates were also measured. The results obtained indicate that tanks treated with sodium bicarbonate performed better in terms of leaf elongation, stem elongation, and numbers of leaves. However, there were no significant differences found between the three treatments regarding fish growth. On the other hand, tanks treated with dolomitic lime showed the best average of nitrites (NO_3^-) compared to the other treatments.

Keywords

Aquaponic, alkalinity, buffer, tilapia, leek onion.

Introducción

La acuaponía es un sistema de recirculación acuícola que combina la hidroponía y la acuicultura. En este sistema, los desechos de los peces se convierten en nutrientes gracias a la acción bacteriana, los cuales son aprovechados por las plantas (Quispe *et al.*, 2018). El uso de heces de animales como fertilizantes para las plantas es una práctica que se ha realizado durante miles de años, especialmente en Asia y América del Sur. Con el tiempo se fueron implementando biofiltros y nuevos diseños de sistemas para que fueran más eficientes hasta lo que conocemos hoy en día (Somerville *et al.*, 2022).

La tilapia nilótica (*O. niloticus*) es una especie que se adapta a diferentes tipos de agua y puede alcanzar un alto rendimiento y ritmo de crecimiento, especialmente cuando se cultiva en densidades altas en comparación con otras especies. Es importante destacar que la tilapia es la tercera especie más comercializada en el mundo, después del camarón y el salmón (Kumar & Engle, 2016). Con respecto al puerro (*porrum*), se trata de una variedad de cebolla que se originó en Asia que se ha extendido ampliamente por Europa y parte de América. Pertenece a la familia de las liliáceas y es un cultivo considerado hortícola. Esta planta herbácea se caracteriza por su alto contenido de agua y riqueza en nutrientes como hiero,

potasio, yodo, silicio, fósforo y calcio. El puerro se cultiva principalmente en suelos donde hay mucha humedad. Las hojas del puerro como los bulbos están adquiriendo cada vez más relevancia dentro del mundo gastronómico, ya que su aspecto físico y sabor son muy similares a la cebolla blanca (Tarira, 2015).

En la acuaponía, las bases se usan con el fin de controlar la acidificación que es causada por la disminución de los cationes básicos (como Ca, Mg, K y Na) y la acumulación de cationes ácidos (como el Al y H). El objetivo de añadir compuestos de calcio o enmiendas es disminuir la acidez del sustrato, ya que los iones de hidrógeno se unen a estos compuestos mencionados y así neutralizarlos químicamente (Magra & Ausilio, 2004). Existen tres bases dentro del sector agropecuario y en la industria alimentaria que se pueden adquirir fácilmente: la primera es el bicarbonato de sodio el cual, dentro de sus características, no presenta punto de ebullición ni inflamación debido a que es no combustible. Sin embargo, se descompone a temperaturas superiores a 70 °C. Cabe destacar que el bicarbonato de sodio se utiliza en la remineralización de aguas, desempeñando un papel esencial como sustancia tampón (Martínez & Sagastume, 1997). La segunda base utilizada es la cal dolomita o dolomítica

que en agricultura es usada como fertilizante para corregir la acidificación del suelo y mejorar su calidad, aportando iones de calcio y magnesio, dos nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas (Price & Walsh, 2005). Y, por último, el hidróxido de calcio, también conocido como cal apagada, que es considerado una base fuerte, con un pH de 12. Se utiliza en la agricultura como corrector de pH; también es usado en el saneamiento del agua, donde actúa como eliminador de bacterias, ayudando en la sedimentación de sólidos suspendidos y en la aclaración del agua (Sandoval *et al.*, 2012).

Una de las principales problemáticas de un sistema acuapónico es mantener el pH en niveles adecuados tanto para los peces como para las plantas. La variación del pH se debe principalmente a dos razones. La primera, es el producto del ciclo del nitrógeno, que es el ácido nítrico (HNO_3). Este ácido aporta iones de H^+ al agua, lo que la acidifica; la segunda razón es la liberación de ácidos del dióxido de carbono (CO_2) durante la noche. Estos ácidos son subproductos metabólicos de la respiración de los organismos que permiten disminuir considerablemente el nivel de oxígeno y, por lo tanto, aumenta el pH del sistema. En la mañana antes de los primeros rayos de luz, se obtiene el pH más bajo. A medida que avanza el día, las algas activan su periodo de fotosíntesis, usando el dióxido de carbono (CO_2) acumulado durante la noche, haciendo que los iones de H^+ disminuyan y, en consecuencia, aumente la alcalinidad del sistema (Mi arrecife, 2021).

Para el año 2050, más del 65 % de la población residirá en zona urbana, lo cual implica un cambio drástico en la distribución demográfica. Además, se ha observado una disminución significativa en la población rural en el periodo comprendido entre 1960 y 2015, pasando de un 66,4 % a un 46,1 % (FAO, 2017). A causa del crecimiento poblacional, se ha vuelto imprescindible buscar sistemas eficientes y amigables con el medio ambiente para lograr un equilibrio entre satisfacer las necesidades de la población y aprovechar de manera sostenible los recursos limitados de la biosfera (Ehrlich & Harte, 2015). La acuaponía, como sistema productivo, ofrece la ventaja de permitir la producción de alimentos en espacios reducidos en lo que anteriormente resultaba difícil cultivar. Esto conlleva a una valiosa oportunidad tanto para la producción de alimentos propios, como para tratar de dar solución al segundo objetivo del desarrollo sostenible (ODS) "hambre cero" (Franco *et al.*, 2023).

Materiales y métodos

Localización

El sistema acuapónico se encuentra ubicado en un invernadero situado en el municipio de La Ceja, en la subregión del Orienteantioqueño, Colombia. Este municipio está localizado en las coordenadas $6^{\circ}02'40''\text{N}$ y $75^{\circ}25'52''\text{O}$, a una altitud de 2.150 metros sobre el nivel del mar. La temperatura promedio en esta zona oscila entre los 16 y los 20°C. Además, se registra una precipitación promedio anual de 3.105 mm,

con una humedad relativa del 85 % (Meteoblue, 2023). La clasificación de zona de vida según Holdridge (1967), corresponde a bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB).

Estanques y tratamientos

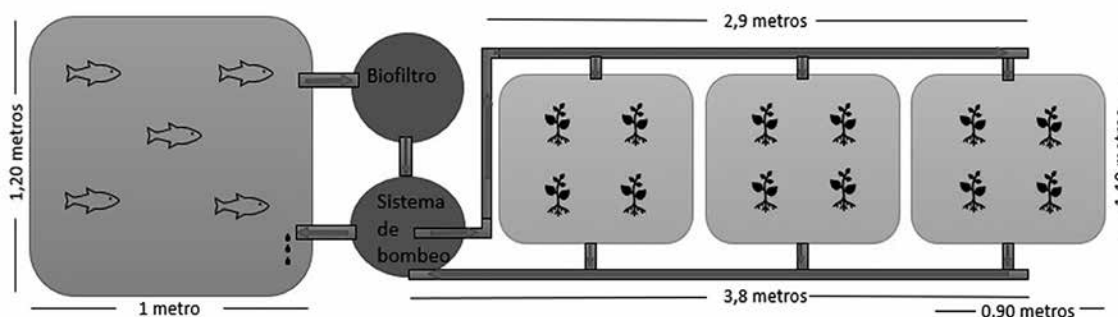
Para el estudio, se emplearon nueve sistemas acuapónicos, tal como se indica en la figura 1. Cada estanque de peces contaba con cinco (5) tilapias negras (*Oreochromis niloticus*) y 45 plantas de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) por sistema.

Cada sistema acuapónico fue considerado como unidad experimental bajo un diseño completamente al azar.

Las dimensiones del tanque que albergaba a los peces eran de 1,20 metros de largo por 1 metro de ancho y 0,90 metros de altura, con una capacidad total de 1.000 litros de agua. Por otro lado, los tanques que contenían las camas flotantes de poliestireno de 0,90 metros de largo por 1,10 metros de largo y 0,50 metros de altura, con una capacidad total de 400 litros de agua (Figura 1).

Figura 1

Diagrama del sistema acuapónico con sus respectivas medidas



Nota. Se procedió a calcular el recambio de agua tanto en el tanque de los peces como en las camas flotantes como se observa en la tabla 1. Elaboración propia.

Tabla 1

Dinámica de llenado y recambio de agua en los tanques de los peces y camas flotantes de las plantas

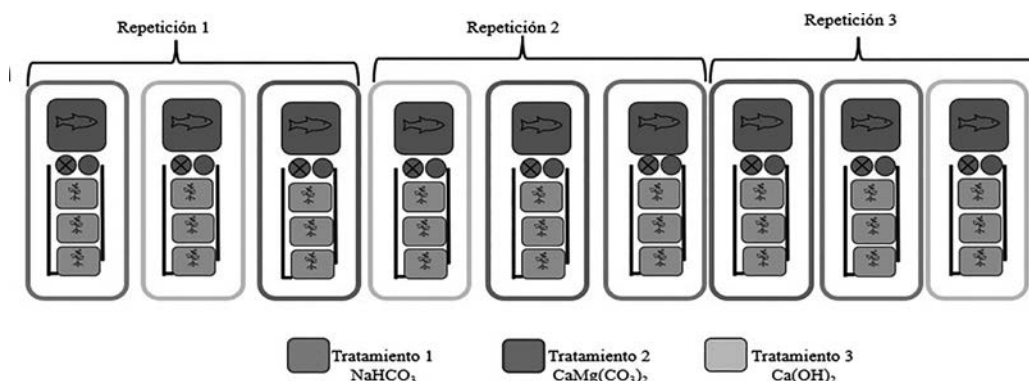
Tanque	Horas llenado Tanque de 1000 L	% recambio/día	Camas flotantes	Horas llenado tanque de 400 L	% recambio/día
1	1,76	136 %	1	2,35	102 %
2	1,75	137 %	2	3,65	65 %
3	1,28	188 %	3	1,01	238 %
4	2,34	103 %	4	3,82	62 %
5	2,35	102 %	5	3,99	60 %
6	1,50	160 %	6	3,39	70 %
7	1,65	145 %	7	2,67	90 %
8	2,08	115 %	8	2,92	82 %
9	1,87	128 %	9	3,27	73 %

Nota. Elaboración propia.

Se evaluaron tres enmiendas distribuidas al azar en las nueve (9) unidades experimentales como se observa en la figura 2, que consistía en lo siguiente: tratamiento 1, bicarbonato de sodio (NaHCO_3); tratamiento 2, Cal dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); y tratamiento 3, hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Durante el experimento, se aplicaron estas enmiendas en los cuatro (4) tanques de cada unidad experimental; incrementando la dosis, comenzando con un (1) gramo y aumentando hasta tres (3) gramos, tres veces por semana. El objetivo era alcanzar niveles de pH superiores a 7,6.

Figura 2

Diagrama de la aplicación de tratamientos a las unidades experimentales



Nota. Elaboración propia.

Plantas

Las plántulas fueron compradas en un vivero con una edad aproximadamente de 20 días y con un largo de $11 \pm 2,76$ cm. Fueron evaluadas durante su etapa vegetativa, que comprende desde su plantación en el sistema hasta que se observó la presencia de 4 a 8 hojas verdaderas y cuando el cuello de la planta empezaba a engrosar (INTI fertilizantes, s.f). Este proceso tuvo lugar entre 35 y 40 días después de la siembra.

Se obtuvieron 405 plántulas de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum var. porrum*) y se plantaron en el sistema acuapónico en las camas flotantes de poliestireno. En cada cama se dispuso 15 vasos de siete onzas de volumen que contenían una esponja como soporte. Cada unidad experimental contaba con tres camas, lo que resultó en un total de 45 plántulas por cada unidad experimental. Para medir el crecimiento de las plantas se tuvo en cuenta varios aspectos como la longitud de hoja, la longitud de tallo, la elongación radicular y el número de hojas. Del total de las plantas trabajadas se midió una muestra del 33 %, lo que significa que se medían 15 plantas por tratamiento, las cuales fueron evaluadas semanalmente por medio del software TPSDig232.

Animales

Se utilizaron un total de 45 tilapias con un peso inicial de $128,78 \pm 45,80$ g. Estas tilapias fueron distribuidas de manera

aleatoria en los nueve estanques del sistema acuapónico. Para alimentar a las tilapias se utilizó un concentrado comercial con la composición nutricional presentada en la tabla 2. Los peces fueron alimentados a razón de un 3 % de su biomasa, utilizando alimentadores automáticos de la marca Resun AF-2005D® dos veces al día, a las 8:00 y a las 13:00, respectivamente. Durante el experimento, los peces fueron pesados utilizando una balanza Electronic SF-400®; su longitud fue medida utilizando el software TPSDig232. Estas medidas se realizaron en tres ocasiones a lo largo del experimento.

Tabla 2

Composición nutricional del concentrado comercial

Composición garantizada	
Proteína mínima	38 %
Grasa mínima	4 %
Fibra máxima	4 %
Cenizas máximo	12 %
Humedad máxima	13 %

Nota. Elaboración propia.

Parámetros del agua

Periódicamente se hacían evaluaciones de los parámetros del agua como temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), pH, NH₄, NO₂, NO₃, y dureza.

La temperatura (T°), el pH y el oxígeno disuelto (OD) fueron medidos *in situ* tres

veces por semana entre las 7:00 y las 8:00 am, antes de que fueran aplicadas las bases en cada unidad experimental. La Temperatura y el OD se midieron utilizando el equipo METTLER TOLEDO SevenGo pro dissolved oxygen®. Por otro lado, las mediciones de los compuestos nitrogenados y el pH de los tanques se realizaron semanalmente utilizando el kit de muestras API® freshwater master test kit, que incluye pruebas para medir el potencial de hidrogeniones (pH), Amonio (NH₃/NH₄⁺), nitritos (NO₂⁻) y nitratos (NO₃⁻).

El potencial de hidrogeniones se midió colocando 5 ml de agua en un tubo de ensayo y añadiendo 3 gotas del frasco de pH. Luego, se agitó durante 3 segundos. El resultado del test arrojó valores entre 6 a 7,6. En caso de que la muestra mostrara un color intenso (>7,6), se debía utilizar el test de High Range (HR). Para ello, se llena de nuevo el tubo de ensayo con 5 ml de agua y se agregan 5 gotas de la prueba HR. Esta prueba proporciona resultados de pH entre 7,8 y 8,8.

La medición del amonio se realizó colocando 5 ml de agua en un tubo de ensayo. Luego se agregan 8 gotas del frasco n°1, sujetándolo verticalmente, seguido de 8 gotas del frasco n°2. Se coloca la tapa y se agita vigorosamente durante cinco segundos. Al finalizar se lee el nivel de amoniaco en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L), que va desde 0 ppm a 8 ppm (mg/L).

Para realizar la prueba de NO₂, se colocaron 5 ml de agua en un tubo de ensayo y agregaron 5 gotas del frasco de nitritos (NO₂⁻), agitando durante 5 segundos. Los resultados de la prueba variaron desde 0 ppm a 5 ppm (mg/L).

Para realizar la prueba de NO₃, se colocaron 5 ml de agua en un tubo de ensayo y se agregaron 10 gotas del frasco n°1, agitándose verticalmente. Luego, antes de abrir el frasco n°2, se debe agitar vigorosamente durante 30 segundos y, una vez pasado ese tiempo, se añaden 10 gotas del frasco n°2 al tubo de ensayo. Al cerrar el tubo con la tapa, se revuelve vigorosamente durante 1 minuto y se espera 5 minutos hasta que la muestra se asiente. Esta prueba arroja resultados desde 0 ppm hasta 160 ppm (mg/L).

Para medir la dureza del agua, se utilizó la prueba KH (*carbonate hardness*) test solution de la marca API® cada 15 días. Se llenó a un tubo de ensayo con 5 ml de agua y se contaron las gotas necesarias para que el agua cambiara de una tonalidad azul a un tono amarillo-anaranjado. Los resultados se pueden observar en la tabla 3, donde se muestra el número de gotas necesarias para determinar el grado de dKH y, por lo tanto, la cantidad de partes por millón que había de KH presentes en el agua.

Tabla 3

Determinación del KH por medio del número de gotas utilizadas

Tabla de conversión		
# de gotas	°dKH	ppm KH
1	1	17,9
2	2	35,8
3	3	53,7
4	4	71,6
5	5	89,5
6	6	107,4
7	7	125,3
8	8	143,2
9	9	161,1
10	10	179
11	11	196,9
12	12	214,8

Nota. dKH: grados de dureza de carbonatos. Es una unidad utilizada para medir la dureza de carbonatos (KH) en el agua, que refleja la capacidad de esta para neutralizar ácidos (alcalinidad).

Análisis estadístico

Para la comparación entre tratamientos de las variables longitud de hoja, tallo y raíz en plantas, además de la longitud y peso en peces, se evaluaron diferentes modelos no lineales (Tabla 4). Se escogió el modelo de mejor ajuste para estas variables a partir del criterio de Akaike, el R2 y la coherencia

biológica. La diferencia entre tratamientos se consideró cuando los intervalos de confianza (IC) de cada curva no se traslapan entre sí. A su vez, las variables número de hojas, pH, O₂, NH₄⁺, NO₂⁻ y NO₃⁻ fueron analizados a partir de un ANOVA y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y la comparación de medias de Tukey y Dunn's post hoc según la verificación de los supuestos de normalidad.

Tabla 4

Modelos evaluados para determinar el desarrollo de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) en su etapa vegetativa y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en un sistema acuapónico

Tabla de conversión		
Modelo	Ecuación	Autor
Lineal	$y=ax+b$	Nelder & Wedderburn, 1972
Cuadrático	$y=ax^2+bx+c$	
Von Bertalanffy	$y=a*(1-be^{-cx})$	Bertalanffy, 1952
Logístico	$y=\frac{a}{1+be^{-cx}}$	Brown & Rothery, 1993
Gompertz	$y=a(b^{cx})$	Gompertz, 1825
Gaussiano	$y=ae^{-\frac{(x-b)^2}{2z}}$	Gauss, 1877
Exponencial	$y=a-(a*e^{-c*x})v$	
Alométrica	$y=aX^b+c$	

Nota. Elaborado con base en las fuentes citadas en la tabla.

Resultados

En la tabla 5 se presentan los modelos de mejor ajuste para cada una de las variables de crecimiento de las plantas. El modelo cuadrático fue el de mejor ajuste para longitud de hoja y tallo, sin embargo, para longitud de raíz fue el modelo alométrico. En general, los ajustes según el R2 no fueron los mejores fluctuando entre 0.17 y 0.42 para longitud de hoja y tallo, a pesar de esto, la longitud de raíz sí obtuvo R2 mayores fluctuando entre 0.64 y 0.75.

Tabla 5

Modelos seleccionados para las variables de crecimiento de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) bajo la aplicación de tres bases.

Tratamiento	Variable	Modelo	Ecuación	AIC	R ²
NaHCO ₃	Longitud hoja	Cuadrático	$y=0,31568x^2-0,49018x+9,48$	3317,70	0,43
CaMg(CO ₃) ₂			$y=0,07493x^2+0,17429x+9,34$	1071,20	0,27
Ca (OH) ₂			$y=0,1186x^2-0,23027x+8,94$	904,59	0,25
NaHCO ₃	Longitud raíz	Alométrico	$y=12,628x^{0,576}-8,56$	2927,50	0,65
CaMg(CO ₃) ₂			$y=16,589x^{0,50754}-12,98$	8426,10	0,69
Ca (OH) ₂			$y=91,944x^{0,2584}-38,11$	4946,00	0,75
NaHCO ₃	Longitud tallo	Cuadrático	$y=0,099643x^2+0,12109x+4,40$	1083,50	0,31
CaMg(CO ₃) ₂			$y=0,058976x^2+0,81967x+3,29$	499,62	0,21
Ca(OH) ₂			$y=0,038379x^2+0,57475x+3,50$	369,14	0,18

Nota. Tratamientos: bicarbonato de sodio (NaHCO₃), cal dolomita (CaMg(CO₃)₂) e hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) a un sistema acuapónico; AIC: Criterio de información de Akaike; R²: Coeficiente de correlación.

Longitud de la hoja

Para el NaHCO₃, se observó que la longitud inicial de las hojas fue de $9,6 \pm 1,92$ cm. A la sexta semana, que fue la última toma de datos, se registró una longitud final de $17,8 \pm 5,73$ cm. Por otra parte, para el CaMg(CO₃)₂ la longitud inicial de las hojas fue de $9,8 \pm 1,81$ cm, y su longitud final fue de $13,07 \pm 2,53$ cm. Por último, para el Ca(OH)₂ se encontró que la longitud inicial de las hojas fue de $8,99 \pm 1,85$ cm, y la longitud final de las hojas fue de $11,88 \pm 2,19$ cm.

En la figura 3, se observa la comparación de la longitud de hoja entre los tres tratamientos durante la etapa vegetativa de la cebolla

puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*). En la primera comparación, se observa una diferencia significativa entre NaHCO₃ y CaMg(CO₃)₂ desde la cuarta semana hasta la sexta semana, siendo el NaHCO₃ el que presenta un mayor desarrollo en la longitud de hojas. Asimismo, la comparación del NaHCO₃ con el Ca(OH)₂ tiene un comportamiento similar y diferencia significativa, durante el mismo periodo de tiempo a la comparación anterior, resaltando el desempeño del NaHCO₃. Por último, entre los tratamientos con CaMg(CO₃)₂ y con Ca(OH)₂ no se encontró diferencia significativa, ya que ambos presentaron un crecimiento muy similar en la elongación de sus hojas.

Longitud del tallo

Se observó que el promedio inicial de la longitud del tallo al momento de plantar la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) fue de $4,33 \pm 1,09$ cm. En la última medición realizada a las seis semanas, se encontró que para el NaHCO_3 el crecimiento promedio del tallo fue de $8,51 \pm 3,03$ cm; para el $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ fue de $6,06 \pm 1,67$ cm; y finalmente para el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, fue de $5,72 \pm 1,36$ cm.

La figura 4 muestra una comparación entre los tres tratamientos. Se muestra que no hubo diferencia significativa entre $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sin embargo, al comparar el NaHCO_3 con el $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se encontró diferencia significativa. Destacando que el NaHCO_3 tuvo un crecimiento superior al resto de los tratamientos a partir de la semana cuatro.

Figura 3

Comparación de la longitud de hojas de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.

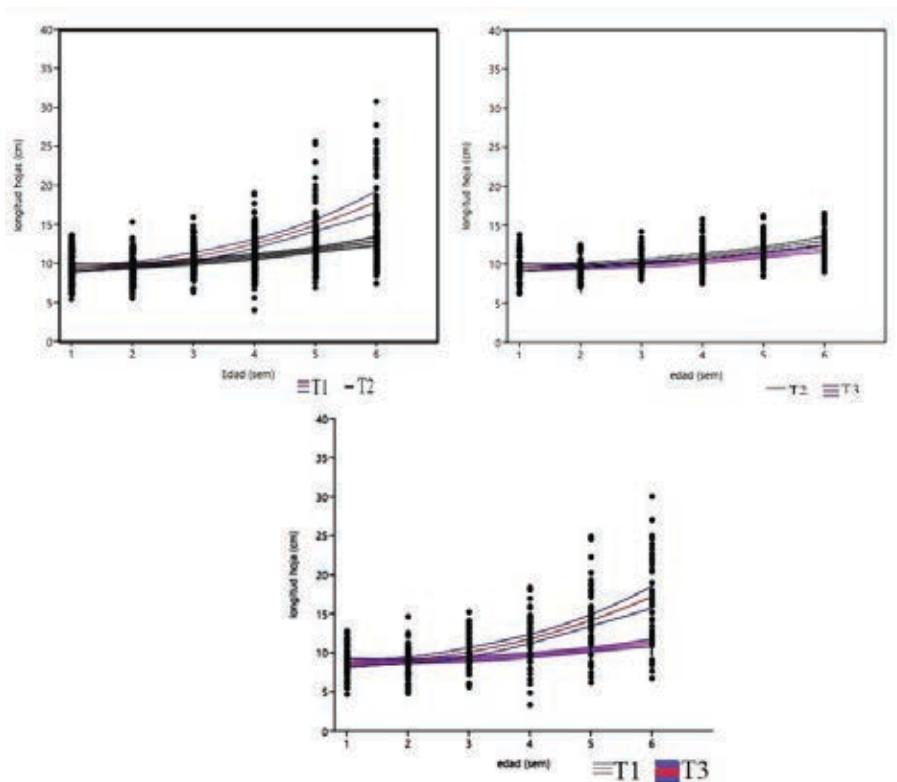
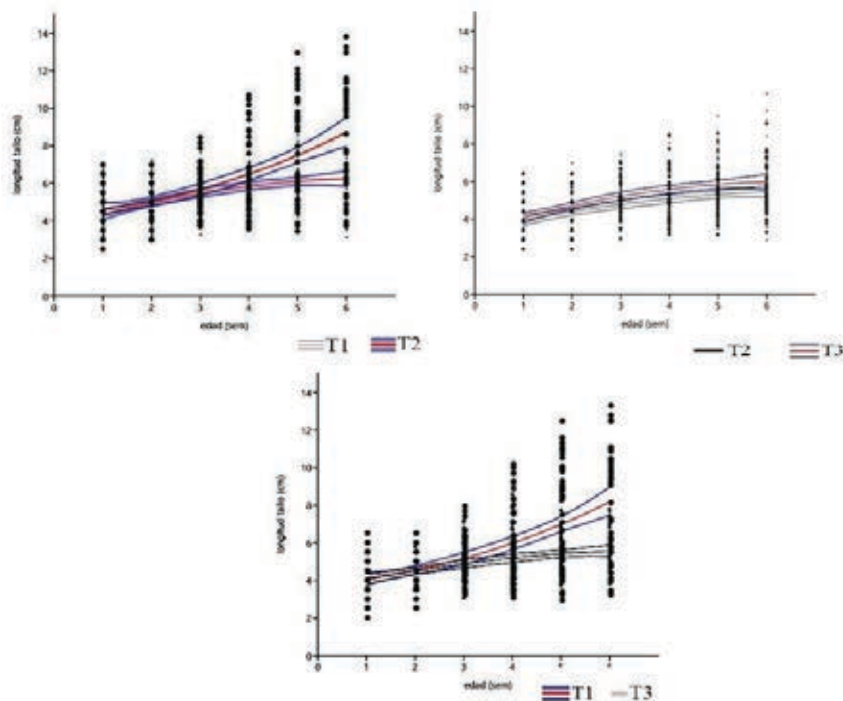


Figura 4

Comparación de la longitud del tallo de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico



Longitud de la raíz

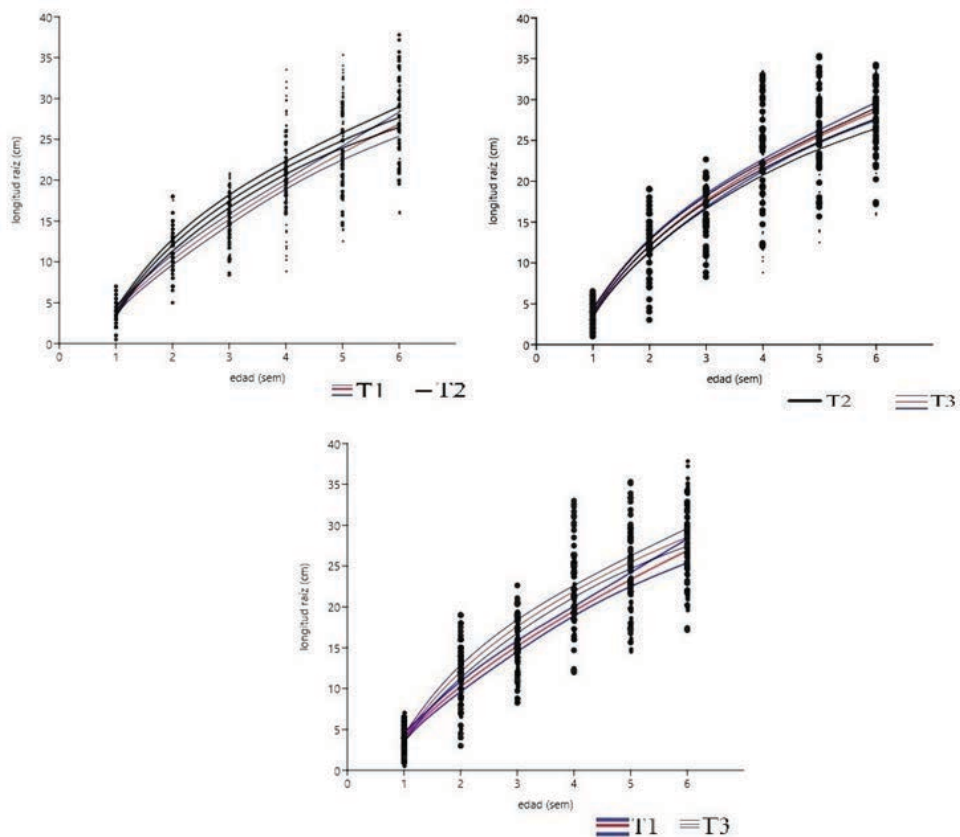
El crecimiento radicular inicial promedio de las plántulas fue de $3,78 \pm 1,40$ cm, y al finalizar las mediciones, el NaHCO_3 mostró un promedio de longitud de raíz de $26,87 \pm 7,8$ cm, el $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ de $26,85 \pm 5,98$ cm y, finalmente, el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ registró una longitud de raíz promedio de $27,55 \pm 5,2$ cm.

Se observó, en la figura 5, que el NaHCO_3 muestra diferencia significativa si lo

comparamos con $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ya que ambos tienden a comportarse de manera muy similar. La diferencia se da desde la semana dos hasta la semana cinco. Sin embargo, al comparar los tratamientos con $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, no se encontraron diferencias significativas. Es importante destacar que el NaHCO_3 mostró un mejor desarrollo radicular numérico en termino de longitud en comparación a los otros tratamientos.

Figura 5

Comparación de la longitud de la raíz de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico



En la tabla 6 se presentan los diferentes modelos de mejor ajuste para cada una de las variables de crecimiento de peces. El modelo cuadrático fue el de mejor ajuste. En general los ajustes según el R² fueron buenos fluctuando entre 0.61y 0.75. Sin embargo, el Ca(OH)₂ en longitud obtuvo un bajo R² (0.38).

Tabla 6

*Ecuaciones de los modelos de mejor ajuste para las variables de crecimiento de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.*

Tratamiento	Variable	Modelo	Ecuación	AIC	R ²
NaHCO ₃	Peso	Cuadrático	$y = -119,23x^2 + 604,5x - 376,92$	1,52E+05	0,7532
CaMg(CO ₃) ₂		Cuadrático	$y = -104,36x^2 + 530x - 283,74$	1,20E+05	0,7499
Ca(OH) ₂		Cuadrático	$y = -144,95x^2 + 584,05x - 333$	1,56E+05	0,7361
NaHCO ₃	Longitud	Cuadrático	$y = -2,7745x^2 + 14,898x + 8,0491$	154,91	0,7164
CaMg(CO ₃) ₂		Cuadrático	$y = -2,2977x^2 + 12,57x + 10,569$	1,88E+02	0,6155
Ca(OH) ₂		Cuadrático	$y = -2,0573x^2 + 11,49,7x + 11,224$	4,39E+02	0,3784

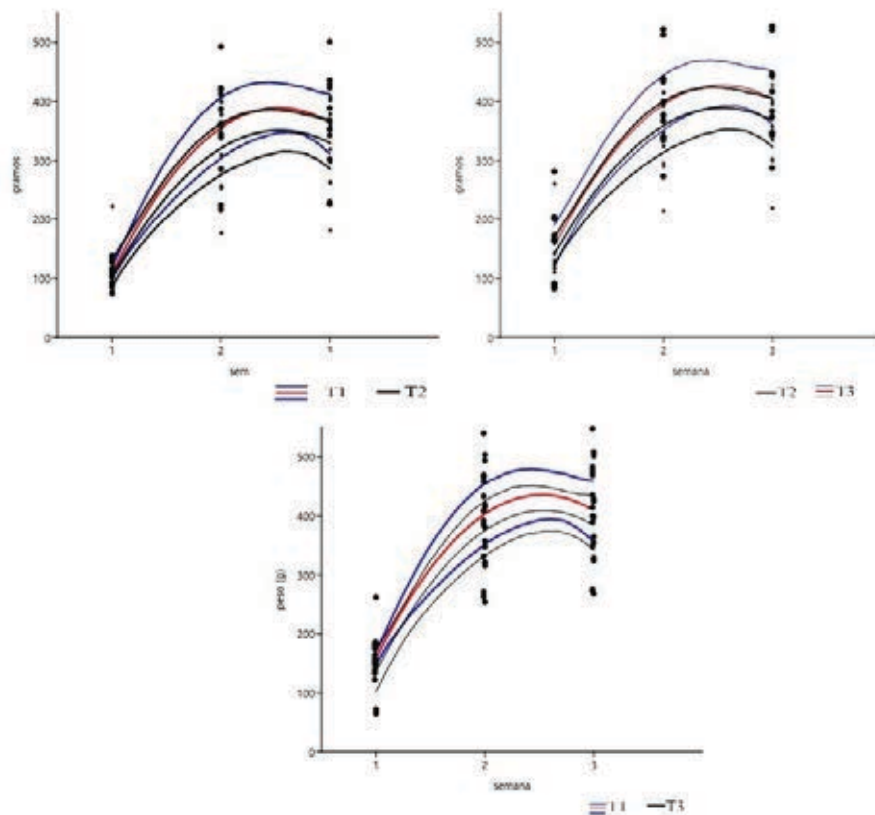
Nota. Tratamientos: bicarbonato de sodio (NaHCO₃), cal dolomita (CaMg(CO₃)₂) e hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) a un sistema acuapónico; AIC: Criterio de información de Akaike; R²: Coeficiente de correlación

Peso

La figura 6 muestra que no se encontraron diferencias significativas en el peso de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) entre los tres tratamientos. Sin embargo, es importante destacar que el peso inicial promedio de los peces en la primera semana de pesaje fue de $128,78 \pm 45,80$ g. A los 152 días, día de la última medición, se registró un aumento del 189 % en el peso, alcanzando un peso final de $371,69 \pm 76,22$ g.

Figura 6

Comparación del peso de las tilapias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.

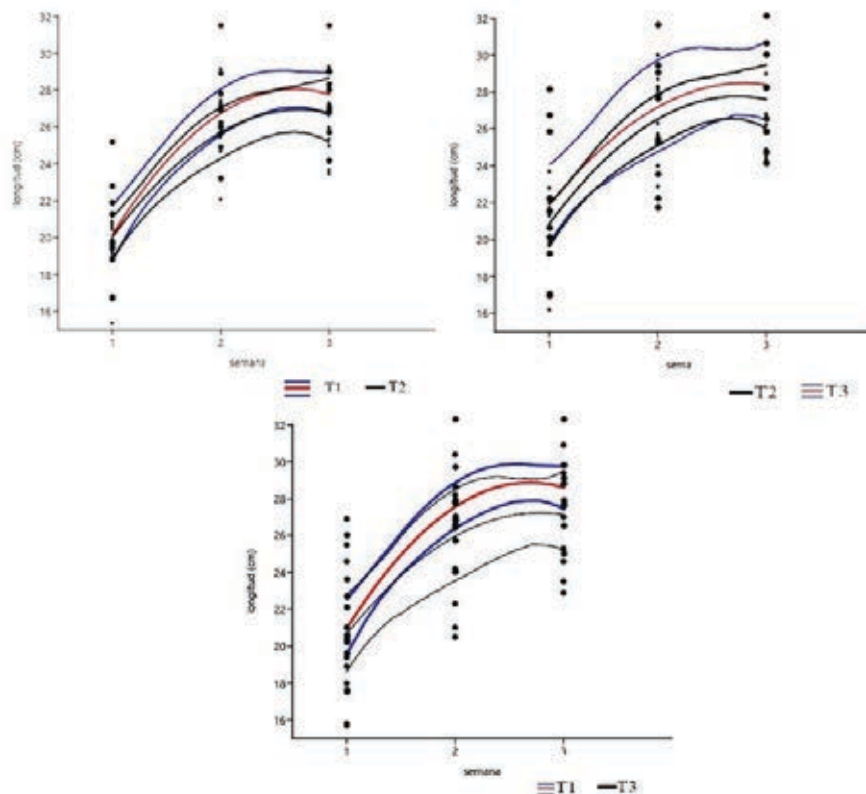


Longitud de los peces

Con respecto a la longitud de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), como se observa en la figura 7, no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos. La longitud inicial de las tilapias fue de $20,55 \pm 2,75$ cm, la longitud final registrada fue de $27,51 \pm 2,81$ cm, lo que representa un aumento del 2 % en esta variable.

Figura 7

Comparación de la longitud de las tilapias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.



Como se observa en la tabla 7, la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) mostró un rendimiento superior en termino de número de hojas en las aguas tratadas con NaHCO_3 y con $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, ambas siendo estadísticamente igual. Sin embargo, el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ registró diferencias significativas con respecto a las otras dos bases, presentando el menor rendimiento en cuanto a la cantidad de hojas.

Tabla 7

Comparación en número de hojas de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*), parámetros fisicoquímicos y metabolitos nitrogenados del agua bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.

Base	Hojas (cantidad)	pH	OD	NH ₃ /NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
NaHCO ₃	4,68±1,45a	7,32±0,78a	6,94±0,67	0,044±0,02	0,13±0,11a	4±4,21a
CaMg(CO ₃) ₂	4,47±1,01a	7,66±0,72b	6,95±0,65	0,016±0,009	0,12±0,12a	6,11±14,76a
Ca(OH) ₂	4,10±0,91b	7,60±0,76b	6,77±0,65	0,038±0,01	0,00±0,00b	1,11±2,10b
P-valor	7,64E-06	4,28E-02	0,533	0,337	0,042	0,001

NOTA. NaHCO₃: bicarbonato de sodio; CaMg(CO₃)₂: cal dolomita; Ca(OH)₂: hidróxido de calcio. OD: Oxígeno disuelto; NH₃/NH₄⁺: Nitrógeno amoniacal; NO₂⁻: Nitratos; NO₃⁻: Nitritos. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa (p-valor < 0,05) ± Desviación estándar.

Parámetros del agua

Durante el estudio, la temperatura del agua osciló entre los 17 y 21 °C, mientras que el oxígeno disuelto varió entre 5,46 y 8,52 ppm. En cuanto al pH del agua, se observó que la aplicación de CaMg(CO₃)₂ y Ca(OH)₂ tuvieron tendencia a mantener el pH muy similar (7,66 y 7,60 respectivamente). Por el contrario, el tratamiento con NaHCO₃ mantuvo un pH menos elevado (7,32), haciendo a este último diferente significativamente con respecto a los demás tratamientos (tabla 7).

Metabolitos nitrogenados

Los niveles promedio de amonio (NH₃/NH₄⁺) durante el estudio se mantuvieron por debajo de 0,1 mg/L, que es lo recomendable para el mantenimiento de la tilapia (Zweig, 1999). Sin

embargo, se observó que el tratamiento con NaHCO₃ tuvo el mayor nivel de amonio en los tanques, pero sin diferencias estadísticas entre los tratamientos (tabla 7).

En cuanto a los nitritos (NO₂⁻), el tratamiento con Ca(OH)₂ mostró una diferencia significativa en comparación con los otros dos tratamientos. En este caso la cantidad de nitritos en el tratamiento con Ca(OH)₂ (0,00 mg/L) no fue lo suficientemente alta para ser detectada mediante la técnica de titulación. Por otro lado, los tratamientos NaHCO₃ y CaMg(CO₃)₂ tendieron a presentar una cantidad de nitritos (NO₂⁻) muy similar (0,13 y 0,12 mg/L, respectivamente) (tabla 7).

Con respecto a los nitratos (NO₃⁻), los tratamientos con NaHCO₃ y CaMg(CO₃)₂ no mostraron diferencias significativas

(4 y 6,11 mg/L, respectivamente), pero en comparación con el tratamiento con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sí hubo diferencia, ya que los tanques tratados con esta base presentaron menor nivel de nitratos (tabla 7).

Discusión

El estudio de Trussell (1972) demostró que la proporción de amonio (NH_4^+) disminuye a medida que el pH aumenta, es decir, en un pH de 9, el amonio (NH_4^+) representa un 70 % de nitrógeno amoniacal (NH_3) y en pH mayores a 11, todas las formas de amonio se presentan en forma amoniacal (NH_3). Se concluye así que el factor que determina la proporción de amoniaco (tóxico) con respecto al amonio en el agua es el pH y la temperatura. En ese orden de ideas si el OD es mayor a 5 mg/L, que es lo recomendando por Wheaton *et al.* (1994), se produce oxidación con los iones de NH_4^+ , los cuales forman nitritos (Morales, 1991). En contraste con el estudio de Quintero (2014), donde se concluyó que los nitritos son más estables y menos tóxicos en pH ligeramente ácidos si el pH se va haciendo alcalino, el OD está en el rango adecuado y hay presencia de nitrobacterias, por lo cual se obtiene nitratos como producto. A su vez, los resultados obtenidos por el estudio de Hageman (1992), demuestran que el pH óptimo para que la planta absorba los nitritos, va de 4,5 a 6, y que las plantas prefieren este ion a comparación del NH_4^+ para obtener nitrógeno (Hewitt, 1952; Hartman *et al.*, 1986). Con respecto al presente estudio, los tanques tratados con NaHCO_3 mostraron el promedio

de pH más bajo y la concentración de amonio más alta, lo que indica que una considerable parte del amonio que está presente en el agua se encuentre en forma de NH_4^+ , lo que permitió que la cebolla absorbiera la mayor parte de nitrógeno. Además, se observó que el nivel de nitritos también fue el más alto en este tratamiento, lo que se traduce en que hay buena tasa de transformación por parte de las bacterias nitrificantes del biofiltro; sin embargo, la conversión hasta nitratos no fue la mejor. Al contrario, en los tanques tratados con $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ se observó una mayor cantidad de nitratos (6,11 mg/L). Sin embargo, este tratamiento también mostró el pH más alcalino. Esto se debe al metabolismo de las microalgas, las cuales utilizan los compuestos carbonatados presentes en el agua para realizar fotosíntesis. Como subproducto se obtiene un aumento en los niveles de oxígeno; además, si se añade la radiación solar, el pH puede alcanzar niveles de basicidad muy altos, lo cual hace que el agua se encuentre fuera del rango recomendado por Hageman (1992). Esto a su vez provoca que no haya absorción óptima, principalmente del nitrógeno. Finalmente, en los tanques tratados con NaHCO_3 , al obtener el promedio de pH más bajo, como se menciona anteriormente, las plantas tienden a absorber el nitrógeno de manera más eficiente, lo que refleja el mejor desempeño de la cebolla en las variables evaluadas.

La acuaponía, como sistema productivo, ofrece la ventaja de permitir la producción de alimentos en espacios reducidos (Franco *et al.*, 2023). En la investigación se evaluaron varios aspectos

clave de un sistema acuapónico, haciendo énfasis en los parámetros fisicoquímicos del agua y el desarrollo de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) y la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*).

Mantener en condiciones óptimas la calidad del agua en el sistema acuapónico es esencial. Uno de los factores más importantes es el pH, el cual es crucial para evitar el estrés en peces y plantas; de manera que, para poder controlarlo se usan bases como correctores con el fin de favorecer las características de estabilidad en el agua y mitigar el riesgo que representa cualquier cambio en las condiciones de esta; cuyo resultado es una afectación a los organismos dentro del sistema (Mi arrecife, 2021).

Durante la etapa vegetativa de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*), se observó que NaHCO₃ tuvo el mejor promedio en términos de longitud de hojas y tallos. En contraste con los hallazgos de Peña (2015), quien destacó la importancia de la densidad de siembra como el principal factor determinante del crecimiento foliar. Además, se encontró que, a mayor interceptación de radiación solar, mayor aumento de biomasa (Rabinowitch & Brewster, 1990). A su vez, el estudio de Garcés (2007) confirmó que la densidad de siembra también influye en el crecimiento del tallo, contrario a lo hallado durante el análisis del resultado de este estudio, donde se logró identificar que la densidad de siembra no representa un criterio determinante frente al crecimiento de los tallos.

En cuanto al crecimiento de las tilapias

nilóticas (*Oreochromis niloticus*), las cuales tenían un peso promedio inicial de 128,78±45,80, durante los 152 días del estudio las tilapias obtuvieron un peso de 371,69±76,22 gramos, lo que representa un aumento del 182 % de ganancia de peso en el sistema acuapónico. Esto difiere de los pesos promedio encontrados en otros dos sistemas acuapónicos intensivos evaluados por González *et al.* (2015), donde comparó la ganancia de peso en un sistema con biofiltración y otro con recambio de agua (102,81 y 92,2 gramos, respectivamente). Estos resultados indican que la densidad de siembra y la capacidad de carga tienen un impacto significativo en el crecimiento de los peces (Cabrera *et al.*, 1998).

Durante el experimento, los niveles de amonio se mantuvieron por debajo del rango de tolerancia de los peces tropicales (< 0,1 mg/L), según lo recomendado por Zweig (1999). En contraste, se han reportado niveles más altos de este metabolito nitrogenado en el estudio de Campos *et al.* (2013), donde alcanzaron niveles de 7,93 mg/L; causando una mortalidad del 9,9 % de las tilapias. Altos niveles de amonio afectan negativamente la osmorregulación y la concentración iónica de la hemolinfa, como afirman Lloyd & Orr (1969). Sin embargo, Quintero (2014) encontró que las tilapias pueden tolerar niveles más altos de amonio sin afectar su salud. Además, se ha observado que niveles bajos de amonio pueden ser aprovechados por las raíces de las plantas, ayudando a reducir niveles tóxicos en el agua (Fakhri *et al.*, 1995).

Los niveles de nitritos se mantuvieron por debajo de la concentración recomendada para muchas especies acuáticas (< 1,0 mg/L) (Van Gorder, 1991). Un alto nivel de nitritos puede ser consecuencia de una falla en el biofiltro; lo cual puede afectar a los peces al dificultar el transporte de oxígeno en la sangre y así, causar la muerte por anoxia, según Somerville *et al.* (2022). Sin embargo, en un estudio similar realizado por Quintero (2014), los niveles de nitritos encontrados fueron de 0,64 mg/L, los cuales fueron inferiores a los encontrados en este estudio (0,08 mg/L).

En cuanto a los nitratos, se mantuvieron en el rango recomendado (10 mg/L) por Ayers y Wescot (1985). Los nitratos son el compuesto menos tóxico de los metabolitos nitrogenados tanto para peces como para las plantas (Westin, 1974; Colt & Tchobanoglous, 1976; Pierce & Weeks, 1993; Tsai & Chen, 2002).

La temperatura promedio del agua durante el estudio se mantuvo en 19,2 °C, lo cual está dentro del rango óptimo (18 a 23 °C) para el cultivo de tilapia y muchas especies de hortalizas, según lo mencionado por Asiain *et al.* (2011). Esto indica que las condiciones de temperatura eran favorables para el desarrollo de los organismos acuáticos y plantas evaluadas en este estudio.

Por otro lado, el pH estuvo en un promedio de 7,5, el cual está dentro del rango óptimo (7-8) para la supervivencia de los peces tropicales según Somerville (2022). Sin embargo, para el adecuado crecimiento de la cebolla puerro, es necesario que el sustrato esté dentro del rango de pH de 6 a 7 (Bernaert *et al.*, 2012).

Se observó una discrepancia en los resultados entre este estudio y la investigación realizada por Quintero (2014), donde el promedio del pH estuvo en 8,5 lo que demuestra que algunas plantas como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) responden positivamente a estos niveles de alcalinidad y que las tilapias toleran un rango amplio de pH. Esta es una de las razones por las cuales hacer investigaciones en cultivos hidropónicos es urgente, ya que hay que mantener controlado el pH para brindar un ambiente idóneo tanto para los peces como para las plantas, con el objetivo de determinar cuáles especies de plantas son las que mejor se adaptan a las características específicas de cada sistema. En este caso, se observó que las tilapias (*O. niloticus*) tuvieron un excelente desempeño con respecto al crecimiento, pero solo el 20 % (81 unidades) de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) tuvieron un crecimiento adecuado en el sistema acuapónico, esto debido a que el ambiente fue adecuado para los peces, pero no para el cultivo, ya que sus requerimientos nutricionales y ambientales no fueron suplidos.

En relación con los niveles de oxígeno, estos estuvieron por debajo de los niveles recomendados para el requerimiento básico de las plantas que es de 7,5 mg/L (Morales, 1991). Esto contrasta con la investigación de Wheaton *et al.* (1994), quienes afirman que los niveles no deben ser inferiores a 5 mg/L de OD, ya que esto disminuye el metabolismo y el crecimiento de los peces. Además, un adecuado nivel de oxígeno promueve el desarrollo y crecimiento de las raíces (Gilsanz, 2007).

Con respecto a los tratamientos aplicados, el de NaHCO_3 mostró el mejor desempeño en relación con las variables evaluadas. Estos resultados son consistentes con lo encontrado por Cerón (2005), quien también demostró que la aplicación de NaHCO_3 mejoró los niveles de alcalinidad bicarbonática (1084 a 2268 mg/L) y proporcionó estabilidad en el pH. Por otro lado, el Ca(OH)_2 no logró obtener el efecto buffer esperado (500 mg/L) en un sistema de aguas residuales.

En el caso del Ca(OH)_2 , se observó un menor desarrollo de las cebollas en comparación con los otros tratamientos. Esto coincide con lo mencionado por Sandoval *et al.* (2012), quienes explican que el hidróxido de calcio es una base fuerte que puede dañar los tejidos, en este caso, las raíces de las plantas, así como también puede afectar la capacidad de absorción de agua y de algunos nutrientes metálicos. Además, las reacciones exotérmicas que ocurren cuando las sustancias cáusticas entran en contacto con el agua pueden afectar negativamente las raíces de las plantas, como ha sido señalado por Avaca (2015). Esto se reflejó en el agua que fueron tratadas con Ca(OH)_2 , perjudicándoles el crecimiento y el adecuado desarrollo.

Conclusiones

El presente estudio demostró que la aplicación de bases para mantener el pH adecuado del agua en un sistema acuapónico no tiene efecto sobre el crecimiento y desarrollo de la tilapia (*O. niloticus*). Los hallazgos de este estudio son importantes para controlar un factor

determinante en la acuaponía como lo es el pH; con lo cual se comprueba que, en las aguas tratadas con bicarbonato de sodio, la cebolla obtuvo un mejor desempeño con respecto a las variables evaluadas. Por otro lado, esta base tiene la ventaja de obtenerse fácilmente en el mercado por un precio accesible.

Con respecto al hidróxido de calcio, por sus propiedades de base fuerte, no se recomienda su aplicación donde haya cultivos, sin embargo, esta fue la base que presentó la menor desviación estándar y la que mayor estabilidad de pH proporcionó al sistema en comparación con el resto de los tratamientos. En cambio, en los estanques donde se aplicó la cal dolomita se encontró el pH más alcalino y el valor más alto de nitratos, que son el compuesto nitrogenado de interés para la nutrición de las plantas.

Por último, se recomienda seguir experimentando y fijar protocolos para controlar los principales parámetros del agua en sistemas acuapónicos, ya que es un sistema sostenible que se puede establecer en lugares donde antes no era posible implementar cultivos para la producción de alimentos propios como pescado, vegetales y hortalizas, sin necesidad de adición de fertilizantes químicos. Además, este sistema disminuye considerablemente los compuestos nitrogenados tóxicos del agua, enriqueciéndola con nutrientes que pueden ser utilizados para irrigar a otros cultivos.

Bibliografía

- Asiain-Hoyos, A., Fernández-Díaz, B., Reta-Mendiola, J. L., & Suárez-Santacruz, C. A. (2011). *Manual de acuicultura para la producción de mojarra tilapia (Oreochromis spp)*. Colegio de Postgraduados. México.
- Avaca, F. M. (2015). Efectos de la salinidad y la alcalinidad sobre la germinación y el crecimiento vegetativo temprano de *Chloris gayana* Kunth. [Trabajo de Grado]. Universidad Católica Argentina. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/317>
- Ayers, R. S. y Wescot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture*. FAO, Irrigation and Drainage paper 29 Rev. I. Roma, Italia.
- Bath R.N., Eddy, F.B., (1980). Transport of nitrite across fish gills. *Journal of Experimental Zoology* 214, 119–121.
- Bernaert, N., Goetghebeur, L., De Clercq, H., De Loose, M., Daeseleire, E., Van Pamel, E., ... & Van Droogenbroeck, B. (2012). Influence of cultivar and harvest time on the amounts of isoalliin and methiin in leek (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(44), 10910-10919.
- Bertalanffy, L. V. (1952). *Theoretical models in biology and psychology*.
- Brown, D., & Rothery, P. (1993). Models in biology: mathematics, statistics and computing *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 67(1), 105–106.
- Cabrera, T., Millán, J., & Rosas, J. (1998). Tres experiencias de cultivo de tilapias en la Isla de Margarita, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 16(1), 127-145.
- Campos-Pulido, R., Alonso-López, A., Avalos-de la Cruz, D. A., Asiain-Hoyos, A., & Reta-Mendiola, J. L. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE5), 939-950.

- Cerón, Á. A. C., Vidal, A. P., & Lozada, P. T. (2005). Importancia del pH y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *Scientia et Technica*, 11(27), 243-248.
- Colt J., Tchobanoglous, G., (1976). Evaluation of the short-term toxicity of nitrogenous compounds to channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture* 8, 209–224.
- Ehrlich, P. R., & Harte, J. (2015). To feed the world in 2050 will require a global revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(48), 14743-14744.
- Fakhri, M. N., Maloupa, E., & Gerasopoulos, D. (1993, October). Effects of substrate and frequency of irrigation on yield and quality of three *Gerbera jamesonii* cultivars. In *International Seminar on Soilless Culture Technology Protected Crops Mild Winter Climates 408*, pp. 41-46.
- FAO (2017). *The state of food and agriculture leveraging food systems for inclusive rural transformation*. FAO: Rome.
- Franco Paez, J. E., Aragón Correa, A. J., Ramos Caldón, H.C., Ramírez Chau, D.A., Betancour Murcia, D.C., Tobar Tello, M.F, Rosero Solarte, J.L. & Lugo Escobar, M. (2023). *Sistemas acuapónicos para producción de alimentos combinando la acuicultura e hidroponía como tecnologías de producción en el futuro* (Traducción de Aquaponics Food Production Systems). Editorial Universidad de la Amazonia.
- Garcés López, R. N. (2007). *Evaluación de abonos orgánicos en la producción de cebolla puerro (Allium porrum L.)* (Bachelor's thesis).
- García-Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chávez, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. *Avances en investigación agropecuaria*, 9(1).
- Gauss, C. F. (1877). *Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium* (Vol. 7). FA Perthes.
-

- Gilsanz, C. J. (2007). *Hidroponía*. Instituto Nacional de Investigación agropecuaria (Ed.).
- Gompertz, B. (1825). XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, (115), 513-583.
- González, H. R., Cabrera, S. G. R., Gómez, M. G. U., Mejía, M. M., & Barajas, F. J. M. (2015). *Análisis técnico de la producción de tilapia (Oreochromis niloticus) y lechuga (Lactuca sativa) en dos sistemas de acuaponía*. Agro Productividad.
- Hach. (2023). *Procesos que requieren la monitorización de la alcalinidad*. <https://es.hach.com/parameters/alkalinity>
- Hageman R. H., (1992). Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. En R.D. Hauck, J.D. Beaton, C.A.I. Goring, R.G. Hoeft, G. W. Randall y D.A. Russel (eds.). *Nitrogen in crop production*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Society of America. Madison, USA.
- Hartman, P. L., Mills, H. A., & Jones, J. B. (1986). The influence of nitrate: ammonium ratios on growth, fruit development, and element concentration in 'Floradel'tomato plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 111(4), 487-490.
- Hewitt, E. J. (1952). *Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition*. Farnham Royal, Bucks; Commonw. Agric. Bur.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. Life zone ecology., (rev. ed.).
- INTI fertilizantes. (s.f). *Características de cultivo de cebolla y su nutrición*. <https://inti.pe/caracteristicas-de-cultivo-de-cebolla-y-su-nutricion/>
- Kumar, G., & Engle, C. R. (2016). Technological advances that led to growth of shrimp, salmon, and tilapia farming. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(2), 136-152.
- Lewis Jr, W. M., & Morris, D. P. (1986). Toxicity of nitrite to fish: a review. *Transactions of the American fisheries society*, 115(2), 183-195.
- Lloyd, R., & Orr, L. D. (1969). The diuretic response by rainbow trout to sub-lethal concentrations of ammonia. *Water Research*, 3(5), 335-344.
-

- Magra, G., & Ausilio, A. (2004). *Corrección de la acidez de los suelos*. Universidad Nacional del Rosario.
- Martínez Valdez, A. E., & Sagastume Leiva, L. X. (1997). *Elaboración de un manual de materia prima sólida usado en la industria Farmacéutica Salvadoreña y sus requisitos mínimos indispensables para su almacenamiento*. San Salvador.
- Meteoblue (2023). *Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para La Ceja*. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/la-ceja_colombia_3679554
- Mi arrecife (2021, 18 de junio). *Problemas de pH en el acuario: Las cuatro causas más comunes*. <https://www.miarrecife.digital/post/problemas-de-ph-en-el-acuario-las-cuatro-causas-m%C3%A1s-comunes>
- Morales D. A., (1991). *La Tilapia en México. Biología, cultivo y pesquería*. A.G.T. Editor.
- Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 135(3), 370-384.
- Peña Baracaldo, F. J. (2015). Efecto de la densidad de siembra y del aporque en la producción y calidad de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* L. var. *porrum* J. Gay). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 101-108.
- Pierce R.H. y Weeks J.M., (1993). Nitrate toxicity to five species of marine fish. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24: 105-107.
- Price, M., & Walsh, K. (2005). *Pocket Nature Rocks and Minerals*. Dorling Kindersley Limited.
- Quintero Vázquez, M. A. (2014). *Producción en acuaponía de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) camarón (*Litopenaeus vannamei*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) controlando las concentraciones de nitrato (NO₃⁻) y amonio (NH₄⁺)*. Instituto Politécnico Nacional.
- Quispe, E. W. A., Tapia, M. L., Pezoa, A. B., Laguna, O. T., Gonzales, J. W., & Contreras, V. H. E. (2018). Evaluación de la concentración de nitratos,
-

- calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en los sistemas acuapónico e hidropónico. *Anales científicos*, 79(1), 101-110.
- Rabinowitch, H. D., & Brewster, J. L. (1990). *Onions and allied crops* (Vols. I-III). CRC Press.
- Ramírez-Mosqueda, M. A., Iglesias-Andreu, L. G., & Luna-Sánchez, I. J. (2017). Light quality affects growth and development of in vitro plantlet of *Vanilla planifolia* Jacks. *South African Journal of Botany*, 109, 288-293.
- Russo, R. C. (1985). Ammonia, nitrite, and nitrate. En G. M. Rand & S. R. Petrocelli (Eds.), *Fundamentals of aquatic toxicology* (pp. 455-471). Hemisphere Publishing Corporation.
- Sandoval, C. H. H., Cristancho, J. C. G., & Naranjo, Ó. E. P. (2012). Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio. *Facultad de Ingeniería*, 21(32), 21-40.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2022). *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala—Cultivo integral de peces y plantas* (Vol. 589). Food & Agriculture Org.
- Tarira Ortiz, Y. M. (2015). *Comportamiento agronómico del cultivo de cebolla puerro (Allium porrum L.) en cuatro densidades de siembra mediante el sistema organopónico, en la zona de Babahoyo* (Bachelor's thesis, Babahoyo).
- Trussell, R. P. (1972). The Percent Un-Ionized Ammonia in Aqueous Ammonia Solutions at Different pH Levels and Temperatures. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 29 (10), 1505-1507.
- Tsai, S. J., & Chen, J. C. (2002). Acute toxicity of nitrate on *Penaeus monodon* juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, 213(1-4), 163-170.
- Van Gorder, S. 1991. Optimizing production by continuous loading of recirculating systems. En: *Workshop on Design of High Density Recirculating Systems*. Baton Rouge, LA, USA.
- Westin, D. T. (1974). Nitrate and nitrite toxicity to salmonoid fishes. *The Progressive Fish-Culturist*, 36(2), 86-89.
-

Wheaton, F.W., Hochheimer, J.N., Kaiser, G.E., Krones, M.J., Libey, G.S. & Easter, C.C., (1994). Nitrification Filter Principles. In *Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management*. M.B. Timmons and T.M. Losordo (Eds.). Elsevier.101.

Zweig, R. D., Morton, J. D., & Stewart, M. M. (1999). *Source water quality for aquaculture: a guide for assessment*. The World Bank.

Efectos de la carnitina como aditivo sobre el desempeño productivo en juveniles de tilapia (*Oreochromis sp*) cultivados en un sistema de recirculación de agua

Daniela Castrillón-Bedoya¹, Jenifer Gutiérrez-Osorio², Carlos Santiago Escobar-Restrepo³, Daniel Gallego-Bustamante⁴

1 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente. Semillero de Nutrición, Alimentación y Reproducción (SENAR). <https://orcid.org/0009-0003-8073-9621>

2 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente. Semillero de Nutrición, Alimentación y Reproducción (SENAR). <https://orcid.org/0009-0007-7442-6708>

3 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente. Semillero de Nutrición, Alimentación y Reproducción (SENAR). <https://orcid.org/0000-0002-3955-484X>

4 Grupo de Investigación INCA-CES, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES, CI 10A #22 - 04, Medellín, Antioquia, Colombia. <https://orcid.org/0009-0005-9717-0907>

Resumen

El alto crecimiento poblacional y la alta demanda de recursos naturales ha ido generando un desgaste sobre el planeta Tierra. Esto ha afectado diversas producciones agropecuarias, entre ellas la piscicultura, debido a la alta demanda del recurso hídrico. Dada esta condición, es necesaria la implementación de alternativas que permitan una producción más limpia de productos agropecuarios, generando productos de gran calidad y cantidad, esto con el fin de suplir la alta demanda de recursos alimentarios necesarios para el sustento de la población. Para el desarrollo de esta investigación se implementó un sistema de recirculación acuícola –RAS por sus siglas en inglés–, así como el suministro de dietas comerciales con el aditivo de carnitina para tilapia roja (*Oreochromis sp*). El estudio se realizó en

nueve tanques, los cuales fueron divididos en tres tratamientos. Se midieron parámetros de calidad del agua (temperatura, oxígeno disuelto, pH, amoníaco, nitratos, nitritos y alcalinidad) y de productividad de la tilapia (peso, altura y de talla y mortalidad). Los resultados obtenidos indican que la adición de una concentración 2000-LC es más eficaz en el incremento de los parámetros productivos que la concentración de 1000-LC. Sin embargo, es de resaltar que el rendimiento entre ambos tratamientos es similar, superando los resultados obtenidos para la dieta comercial implementado (0-LC), concluyendo así que el uso de la carnitina en una concentración de 2000-LC provoca un aumento de las características productivas de los juveniles de tilapia (*Oreochromis sp*).

Palabras clave

Nutrición, Sistema de recirculación, Talla, Peso, Biomasa, Aditivos, Producción limpia, Sostenibilidad, Cultivo de tilapia.

Introducción

La producción acuícola mundial ha logrado un crecimiento promedio de 5,3 % anual en el periodo 2001-2018. Esto se ve reflejado en una producción de 179 millones de toneladas de pescado en el año 2018, distribuidas de la siguiente manera: 82,1 millones de toneladas de animales acuáticos, 32,4 millones de toneladas algas acuáticas, 26 millones de toneladas de conchas marinas ornamentales y perlas, de las cuales 156 millones de toneladas fueron destinadas para consumo humano (lo que equivale a un consumo per cápita de 20,5 kg), mientras que los 22 millones restantes fueron empleados en la producción de harina y aceite de pescado (Food Agriculture Organization, 2020).

Colombia es un país que cuenta con un gran potencial para el desarrollo de la acuicultura, puesto que posee una gran riqueza hídrica en la parte continental y marítima; además, cuenta con una gran variedad de climas cuyas condiciones son las adecuadas para el cultivo de distintas especies acuáticas. Adicionalmente, el país presenta una gran diversidad de especies acuáticas exóticas con aptitud de domesticación. La actividad acuícola ha crecido de forma acelerada en las últimas décadas, resultado de la alta demanda proteica actual, así como un

cambio de costumbres alimentarias que ha aumentado el consumo de pescado y que ha favorecido el crecimiento de este sector. Sin embargo, el desarrollo y la consolidación del sector ha sido lento comparado con el potencial y con otros sectores agropecuarios, tales como la ganadería, la avicultura, entre otros. Esta condición se da debido a que el aporte que realiza este sector a la satisfacción de necesidades alimentarias del país no es muy significativo (Food Agriculture Organization, 2020).

La acuicultura colombiana se ha desarrollado con especies como el camarón marino (*Litopennaeus vannamei*), las tilapias (*Oreochromis niloticus* y *Oreochromis sp*), la trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*), la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y la cachama negra (*Colossoma macropomum*), siendo las especies exóticas las más cultivadas, a pesar de que Colombia es un país diverso especialmente en especies ícticas (AUNAP, 2014).

La producción acuícola colombiana, en el 2020, fue de 41.356 toneladas de carne de pescado y camarón. Por otra parte, las especies de mayor producción en el país son tilapia (58 %), cachama (19 %) y trucha 16 %. Los principales núcleos de producción piscícola son Huila (39 %), Meta (11 %), Tolima (9 %), Cundinamarca y Boyacá

(6 %), Antioquia (4 %) y Córdoba (3 %); por su parte, los principales núcleos de producción de camarón son Bolívar (89 %), Nariño (10 %) y atlántico (1 %) (Merino, 2021). Además de esto, se tienen reportes de que la acuicultura en Colombia, para el año 2020, dio empleo directo a 53.805 personas, y de forma indirecta a 161.416 personas en las 16 plantas distribuidas en los departamentos de Huila, Boyacá, Antioquia, Cundinamarca, Cauca, Bolívar, Nariño, Risaralda (Dirección de Cadenas Pecuarias, 2020).

Teniendo en cuenta lo dicho por la Dirección de Cadenas Pecuarias (2020), la tilapia constituye el 58 % de la producción de carne de pescado, siendo esta la de mayor consumo a nivel nacional. La tilapia (*Oreochromis sp*) es una especie acuícola originaria de África, la cual es perteneciente a la familia Cichlidae, la cual habita, por lo general, en regiones tropicales del mundo; en ese sentido esta especie prefiere las aguas cálidas y poseen un margen de tolerancia en cuanto a condiciones de calidad de agua bastante amplio, soportando temperaturas entre los 22° y 33°C, y un pH entre 6,5 y 8,5. Toleran, además, aguas con concentraciones bajas de oxígeno. Otro aspecto a considerar es que es una especie resistente a enfermedades y su dieta es omnívora, por lo cual, la formulación del alimento balanceado en su parte nutritiva puede variar (Centro Tecnológico de la Acuicultura, 2017).

A lo largo de los años, el incremento poblacional se ha dado de forma exponencial, aumentando así la demanda de recursos naturales y de alimentos. Dadas estas condiciones, el sector

agropecuario ha tenido que adaptarse debido a la alta demanda de proteína animal, mejorando técnicas y tecnologías que permitan la obtención de productos de origen animal con alto valor proteico y con costo equilibrado. Se debe entender que la producción agropecuaria es una producción que necesita gran espacio y tiempo para obtener productos; dado esto, la producción acuícola surge como una alternativa con el fin de suplir el déficit de proteína. Esta producción, al igual que las demás, presenta factores y aspectos como el alto valor proteico de los concentrados que afectan las condiciones peso y talla de los peces, y, por ende, afectan la obtención de carne de pescado con condiciones óptimas para su comercialización (Food Agriculture Organization, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, la producción de tilapia surge como una alternativa, dado que su consumo es el de mayor porcentaje; por eso, la intensificación de la producción de tilapia requiere un mejoramiento y un desarrollo de tecnologías asociadas directamente a mejoras génicas, condiciones de bioseguridad, calidad y manejo. Otro aspecto por considerar es el papel fundamental que cumple la nutrición de los individuos, factor que, como se nombró anteriormente, afecta la productividad y el mantenimiento de la calidad del producto a comercializar. Dada esta condición, distintos productores han incursionado en el uso de aditivos, cuyo fin es del mejoramiento del pez en cuanto a tamaño, color, salud y aprovechamiento de nutrientes (Food Agriculture Organization, 2020).

Uno de estos aditivos es la carnitina, la cual actúa facilitando el metabolismo de los ácidos grasos, trasportándolos hacia la mitocondria, donde serán oxidados en adenosín trifosfato (ATP) por el proceso de la β -oxidación. Además, la carnitina presenta una fácil manipulación en dietas; es una sustancia con alta solubilidad y ayuda a mantener la estabilidad del agua y su calidad. Este aditivo actúa, también, como un promotor de crecimiento, mejorando la eficiencia de utilización de nutrientes en los peces, lo cual permite una reducción del uso de altas cantidades de proteínas como fuente de crecimiento (Santos Sanchez *et al.*, 2021).

Dado esto, la presente investigación buscó generar elementos de análisis y de información que fortalezcan el conocimiento acerca del uso del aditivo carnitina en la dieta de juveniles de tilapia (*Oreochromis sp*). La crianza de los juveniles de tilapia se realizó en un sistema de recirculación de agua (RAS por sus siglas en inglés). Esta técnica de producción se basa en un circuito cerrado donde continuamente se filtra y se recicla el agua, allí los peces son criados en tanques, y el entorno es totalmente controlado. Esto facilita que la producción acuícola en altas densidades pueda desarrollarse con una menor cantidad de agua, generando poca contaminación al medioambiente. Esto da lugar a una producción que cuenta con el cuidado planeta y que cumple la normativa ambiental vigente aplicable a este tipo de producción (Gamboa, 2014).

Metodología

Localización y unidades experimentales

El proyecto se realizó en el Instituto para el Desarrollo Humano (MIES), ubicado en el municipio de La Ceja (Antioquia), el cual se encuentra situado a 2.143 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 18°C (Alcaldía de La Ceja, n.d.). Dicho Instituto, dentro de sus instalaciones, cuenta con el diseño de un sistema de recirculación de agua (RAS).

En el estudio se utilizó un total de 495 individuos, los cuales fueron distribuidos en nueve estanques (55 peces por estanque). Los peces tuvieron un periodo de adaptación al ambiente del RAS, puesto que eran provenientes del departamento del Huila; durante los 15 días de adaptación se presentaron 135 muertes puesto que los parámetros de calidad del agua (amonio y nitritos) estuvieron fuera de sus medias normales, hasta llegar a niveles tóxicos, lo que ocasionó inmunosupresión en los peces, presentándose contagio con *Aeromonas*. Estas pueden provocar acumulación de líquido en el abdomen, daño de aletas y ojos agrandados, síntomas que, según Nuñure (2019) y Sánchez Calderón (2015), pueden ser asociados a estas bacterias. En el presente caso, se realizó tratamiento con oxitetraciclina de la siguiente manera: una aplicación de 5 ml disuelta en el agua del estanque, y 0,5 g en el alimento durante 8 días. Una vez el tratamiento culminó, se realizó una distribución de los peces con el fin de que los

estanques quedaran con el mismo número de animales, 40 por estanque, de los cuales 3 estanques fueron de control, y los otros se sometieron a dietas diferentes respecto a la adición de carnitina.

Sistema de recirculación de agua (RAS)

El sistema de recirculación de agua (RAS) está compuesto por filtros mecánicos que se encargan de eliminar los sólidos provenientes de las excretas de los peces y las sobras del alimento suministrado; biofiltros, encargados de la eliminación de los elementos tóxicos disueltos en los tanques, sustancias como el

amoníaco; y aireadores, cuya función es la de oxigenación del agua, factor fundamental para la supervivencia de los peces. También cumplen un papel de eliminación del dióxido de carbono presente en el agua, resultado de la respiración de los peces.

Figura 1

Sistema de Recirculación de agua (RAS)



Desinfección y preparación del sistema de recirculación de agua (RAS)

Proceso de vacío sanitario. Inicialmente se extrajo el agua contenida dentro del sistema para realizar la limpieza de los tanques, bombas, canastillas, mallas, guatas y acuarios. Esto con el fin realizar una esterilización de todo el sistema y evitar una contaminación del agua y, por ende, de los animales. Este proceso se realizó mediante una disolución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y formaldehído (CH_2O); por cada 10 litros de agua se agregaron 10 ml de peróxido y 2,5 ml de formol. Después de este proceso, se realizó otra desinfección con una disolución de amonio (NH_4^+) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), con la misma fórmula anteriormente presentada; por cada 10 litros de agua se agregaron 10 ml de peróxido y 2,5 ml de amonio. Estas disoluciones se aplicaron de manera uniforme sobre los tanques y acuarios, tuberías, bioespumas, canastillas, mallas y todos los instrumentos utilizados para la investigación; estos se dejaron durante un periodo de 16 días con el fin de reducir exponencialmente la posibilidad de alguna contaminación cruzada.

Maduración del agua. El protocolo de maduración del agua del RAS se llevó a cabo a los dos días posteriores al vacío sanitario. Este se inició con el llenado de los tanques, a los cuales se les adicionó azúcar morena durante un periodo de 8 días, agregando (1,85 g) cada día; posterior a esto, se agregó (1,62 g) de cloruro de amonio (NH_4Cl) los

dos primeros días. Siguiendo el proceso de maduración, se agregó cal agrícola (6 g) y bicarbonato (6 g) de manera intercalada hasta el cuarto día. Luego, se agregó cal (3 g) y bicarbonato (3 g) en un porcentaje de 50/50, para posteriormente ir sustituyendo de manera gradual el bicarbonato por cal, hasta alcanzar los requerimientos necesarios en relación con la alcalinidad.

Después del periodo de 8 días, se realizó la medición de los parámetros de alcalinidad, buscando una concentración de 120/130 ppm y una concentración de amonio entre 0/0,25 ppm. Al mismo tiempo, se realizó el encendido de los calentadores integrados al RAS hasta alcanzar de manera estable una temperatura de 26°C; este proceso se llevó a cabo durante un periodo de cuatro semanas hasta que se alcanzó una concentración de 50/100 ppm (5/6 gotas) en la medición de la alcalinidad mediante el equipo de medición de calidad de agua (*Aquarium Pharmaceuticals Inc. (API®)*).

Por último, se realizó la disolución de 0,5 cm^3 de hipoclorito de sodio ($NaClO$) en 10 litros de agua, la cual se agregó a una caneca con tapa. Esta fue adaptada mediante una manguera de tal forma que la disolución siempre estuvo en contacto con el aire durante un periodo mínimo de dos horas; transcurrido el tiempo, se realizó la adicción de 10 g de bacterias nitrificantes (*Eco-Pro®*) por cada litro de agua desinfectada. Esta mezcla se dejó durante un periodo de 24 horas. Por último, se realizó el vertimiento de 1 litro de la preparación y 25 gramos de sal marina a los tanques que componen el RAS.

Calidad del agua

Para el análisis de la calidad del agua se determinó medir parámetros *in situ*: pH, temperatura (T°) y oxígeno disuelto (OD); además, se realizó la medición de las concentraciones de amonio, nitratos y nitritos.

La medición del OD se realizó de manera periódica mediante el uso del medidor de OD portátil Milwaukee MW600, con calibración manual de 2 puntos en un rango de 0,0 – 19,0 mg/L, resolución de 0,1 mg/L, precisión +/- 1,5 %, y rango de saturación del 100 %. La temperatura se registró mediante el uso de termómetros integrados al RAS; por último, el

pH y las concentraciones de amonio, nitratos y nitritos se midieron mediante el uso de un 'equipo de aguas' de marca API ®.

Dietas experimentales

La duración del proyecto fue de seis meses. En los dos primeros meses de vida de los individuos, se les suministró una dieta comercial con la adición de carnitina, cantidades previamente establecidas y distribuidas en dos tratamientos. Posteriormente, se suministró una dieta comercial a los individuos hasta que estos alcanzaron el peso óptimo de sacrificio. Las dietas suministradas a los individuos poseen la composición nutricional descrita en la tabla 1.

Tabla 1

Composición Nutricional de las dietas comerciales implementadas

	Tilapia 45 Extruido	Tilapia 38	Tilapia 32	Tilapia 24
Edad (días)	60	113	145	185
Peso Aprox. (g)	4,8	23,8	67,1	180
Contenido nutricional				
Proteína	45.0 %	38.0 %	32.0 %	24.0 %
Grasa	4.0 %	4.0 %	2.5 %	4.0 %
Cenizas	10.0 %	10.0 %	12.0 %	10.0 %
Humedad	12.0 %	12.0 %	13.0 %	12.0 %
Fibra	6.0 %	6.0 %	6.0 %	8.0 %

Nota. Elaboración propia.

El primer tratamiento se implementó en 3 tanques, a los cuales se les suministró una dieta con una adición de 1000 mg de carnitina por kg de alimento. El segundo tratamiento, en los siguientes 3 tanques, consistió en una dieta que incluía adición 2000 mg de carnitina por kg de alimento. Por último, los 3 tanques restantes se alimentaron con una dieta comercial base, con el fin de servir como grupo control para una posterior comparación.

Durante la adición de carnitina, se tomaron semanalmente 20 ejemplares aleatorios de cada estanque y, posterior al tratamiento,

se tomaron datos cada dos semanas. Las variables que se midieron fueron el peso, la talla (desde la boca del animal hasta el pedúnculo caudal) y la altura (desde la raíz de la aleta pélvica hasta la raíz de la aleta espinosa dorsal). Para la medición, se utilizó un recipiente transparente con un metro y una gramera Electronic SF-400® con capacidad de hasta 10 kilogramos.

Figura 2

Gramera Electronic SF-400® y recipiente con cintra métrica



Análisis de datos

Se realizó un diseño completamente al azar con un total de 360 peces aleatorizados en tres tratamientos y con tres repeticiones por tratamiento. Para la comparación entre tratamientos de peso, talla y altura se evaluaron diferentes modelos (Tabla 2). Se

escogió el modelo de mejor ajuste para estas variables a partir del criterio de Akaike, el R² y la coherencia biológica. La diferencia entre tratamientos se consideró significativa cuando los intervalos de confianza (IC) de cada curva no se superpusieron. Para el análisis se utilizó el programa Past versión 4.1.

Tabla 2

Modelos evaluados para las curvas de crecimiento y porcentaje de materia seca, de acuerdo con la suplementación de óxido de zinc

Modelo	Ecuación	Autor
Lineal	$y=ax+b$	Nelder & Wedderburn, 1972
Cuadrático	$y=ax^2+bx+c$	
Von Bertalanffy	$y=a*(1-be^{-cx})$	Bertalanffy, 1952
Logístico	$y=\frac{a}{1+be^{cx}}$	Brown & Rothery, 1993
Gomperzt	$y=a(b^{cx})$	Gompertz, 1825
Gaussiano	$y=ae^{-\frac{(x-b)^2}{2z}}$	Gauss, 1877
Exponencial	$y=a-(a*e^{-c*x})$	

Nota. Elaboración propia con base en lo modelos propuestos por los autores mencionados.

Resultados

Inicialmente, cabe aclarar que los modelos estadísticos implementados para los valores obtenidos para cada tratamiento obtuvieron un AIC y R2 asociados a estos, como se evidencia en la tabla 2. Para el parámetro del peso se tiene que para los tres tratamientos se implementó el modelo de Gompertz, modelo con el mejor ajuste. Para el parámetro de la talla se evidencia que para el tratamiento 0-LC el modelo que mejor se ajusta es el exponencial, mientras

que para los tratamientos de 1000-LC y 2000-LC, el más apropiado es el modelo de Von Bertalanffy. Por último, para el parámetro de la altura, al igual que para el parámetro de la talla, el tratamiento 0-LC presenta un mejor ajuste al modelo exponencial según los datos obtenidos, mientras que para los tratamientos 1000-LC y 2000-LC el modelo Von Bertalanffy tiene el mejor ajuste a los datos monitoreados. Cabe resaltar que el rango del R2 obtenido para estos modelos implementados, con los parámetros productivos, presentaron un buen ajuste con valores entre 0,69 y 0,87.

Tabla 3

Modelos, ecuaciones, AIC, y R2 para los tres tratamientos implementados mediante la aplicación de carnitina a la dieta comercial

	Trt.	Modelo	Ecuaciones	AIC	R2
Peso	0	Gompertz	$Y=1210,5*\exp(-8,4401*\exp(-0,008006x))$	34886	0,7736
	1000	Gompertz	$Y=85,457*\exp(-12,898*\exp(-0,025375X))$	19993	0,8564
	2000	Gompertz	$Y=108,17*\exp(-10,999*\exp(-0,022182X))$	23441	0,8546
Talla	0	Exponencial	$y=55,776*\exp(0,0014689x)-55,518$	413,01	0,8357
	1000	Von Bertalanffy	$Y=17,509*(1-1,3955*\exp(-0,011056x))$	352,52	0,8734
	2000	Von Bertalanffy	$y=18,005*(1-1,3576*\exp(-0,010683x))$	355,69	0,8721
Altura	0	Exponencial	$y=1,2018*\exp(0,010967x)+0,026733$	149,97	0,6848
	1000	Von Bertalanffy	$y=8,0901*(1-1,2789*\exp(-0,0089687x))$	123,13	0,7766
	2000	Von Bertalanffy	$y=10,056*(1-1,1481*\exp(-0,0064363x))$	136,26	0,7585

Nota. Trt: tratamiento. AIC: criterio de información Akaike; R2: coeficiente de correlación.

Teniendo en cuenta los parámetros arrojados por los diferentes modelos escogidos y para cada variable (Tabla 4), el peso, talla y altura alcanzado por el tratamiento con 0-LC fueron superiores; sin embargo, teniendo en cuenta el valor a los 120 días, tiempo

evaluado en el presente estudio, para las tres variables el tratamiento con 2000-LC fue superior. Es de resaltar que los días indicados para la obtención de este valor no presentan coherencia biológica en ninguno de los tratamientos.

Tabla 4

Parámetros arrojados por los modelos seleccionados para peso, talla y altura en tilapias alimentadas con tres niveles de L-carnitina

Variable ²		L-Carnitina mg/kg alimento ¹		
		0	1000	2000
Peso	Máximo	121,05	85,45	108,17
	120 días	47,92	46,25	50,18
Talla	Máximo	55,78	17,50	18,00
	120 días	11,01	11,03	11,22
Altura	Máximo	12,01	8,09	10,05
	120 días	4,50	4,60	4,70

Nota. 1 Tratamiento 1: control, sin inclusión de L-Carnitina; 2: inclusión de 1000mg/kg de L-Carnitina; 3: inclusión de 2000 mg/kg de L-Carnitina. 2Máximo: valor máximo alcanzado según el modelo; 120 días: valor alcanzado a los 120 días según el modelo.

Teniendo en cuenta los resultados evidenciados asociados a los parámetros monitoreados (peso, talla y altura), los valores obtenidos no presentan diferencias significativas dado que el rendimiento entre los tratamientos fue similar, con diferencias aproximadas de 3 g, 0,2 cm y 0,1 cm para el peso, la talla y la altura, respectivamente.

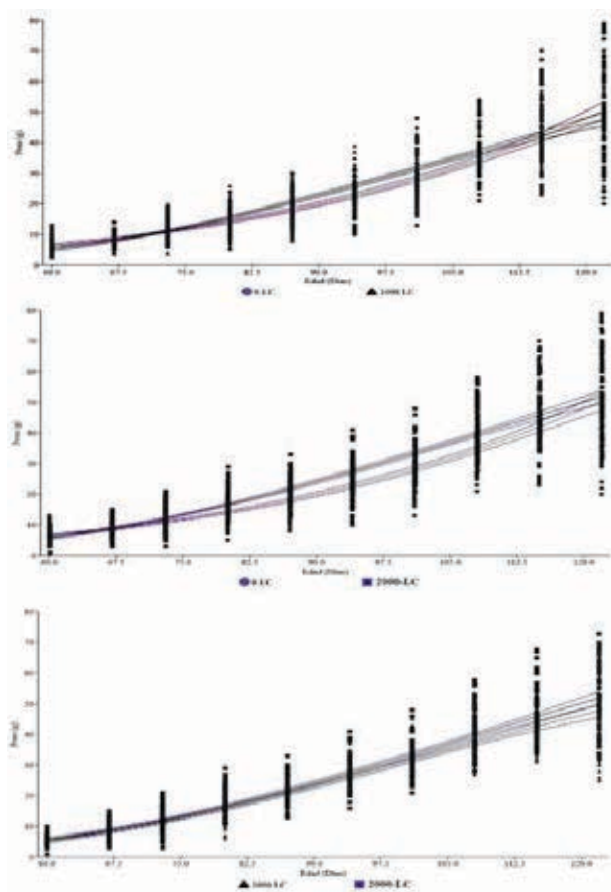
Peso

Para la variable de peso el modelo de mejor ajuste fue el de Gompertz. Los pesos iniciales y finales para los tratamientos fueron los

siguientes: 6 g y 47,92 g, 6 g y 46,25 g, y 5 g y 50,18 g para los tratamientos 0-LC, 1000-LC, 2000-LC, respectivamente. Adicional a esto, los pesos alcanzados a los 120 días de monitoreo fueron de 47,92 g, 46,25 g y 50,18 g para los tratamientos 0-LC, 1000-LC, 2000-LC respectivamente, con una ganancia de peso de 42 g aproximadamente en 60 días.

Figura 3

Comparación del peso en distintas concentraciones de L-Carnitina en juveniles de tilapia



En la figura 3 se observa la comparación entre los resultados obtenidos para el parámetro de peso de los tres tratamientos (0-LC, 1000-LC, 2000-LC) durante el periodo de monitoreo. En la comparación de los tratamientos 0-LC y 1000-LC, se encontró una diferencia significativa entre los días 75 y 112, siendo el de 1000-LC el de mejor desempeño en este tiempo; a los 120 días, ambos tratamientos

presentaron un desempeño similar. Entre los tratamientos 0-LC y 2000-LC, se encontró una diferencia significativa entre los días 72 y 118, siendo 2000-LC el de mejor desempeño. Por último, entre los tratamientos 1000-LC y 2000-LC no se presentan diferencias significativas, ambos tratamientos poseen un desempeño y comportamiento similar.

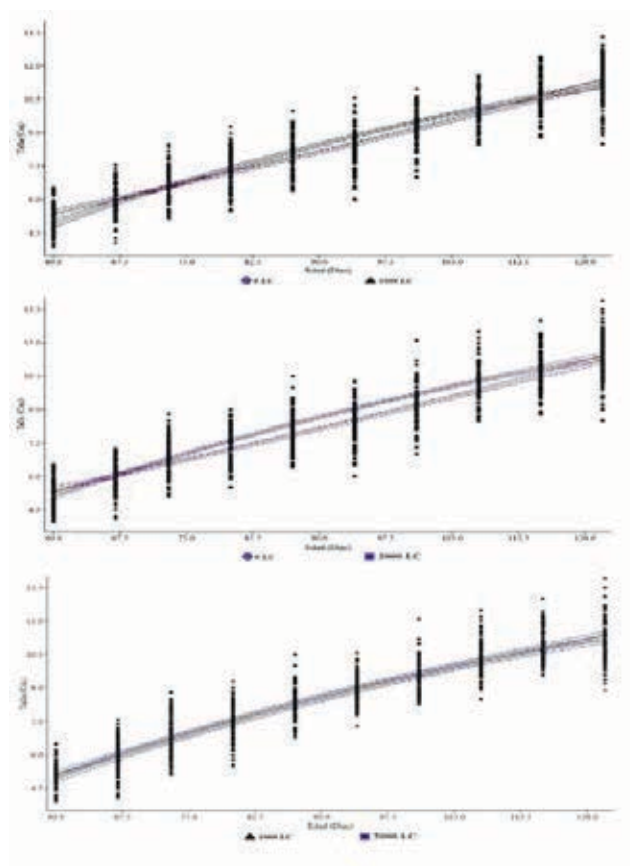
Talla

Los tres tratamientos para la variable de la talla el modelo de mejor ajuste fue el exponencial para el tratamiento de 0-LC, mientras que para los tratamientos 1000-LC y 2000-LC, el modelo de mejor ajuste fue Von Bertalanffy.

La talla inicial para los tratamientos fue de 5 cm, la cual fue la medida estándar del criadero, y la talla final fue de 11,01 cm, 11,03 cm y 11,22 cm para los tratamientos 0-LC, 1000 -LC, 2000-LC, respectivamente. La ganancia de talla fue aproximadamente de 1 cm cada diez días, aproximadamente.

Figura 4

Comparación de la talla en distintas concentraciones de L-Carnitina en juveniles de tilapia



En la figura 4 se observa la comparación entre los resultados obtenidos para el parámetro de talla de los tres tratamientos (0-LC, 1000-LC, 2000-LC) durante el periodo de monitoreo. Para los tratamientos de 0-LC y 1000-LC se da una mínima diferencia entre los días 83 y 110. Para los

tratamientos de 0-LC y 2000-LC, se presenta una diferencia significativa entre los días 73 y 118. Por último, entre los tratamientos de 1000-LC y 2000-LC no se presentan diferencias significativas, el rendimiento de ambos tratamientos fue similar.

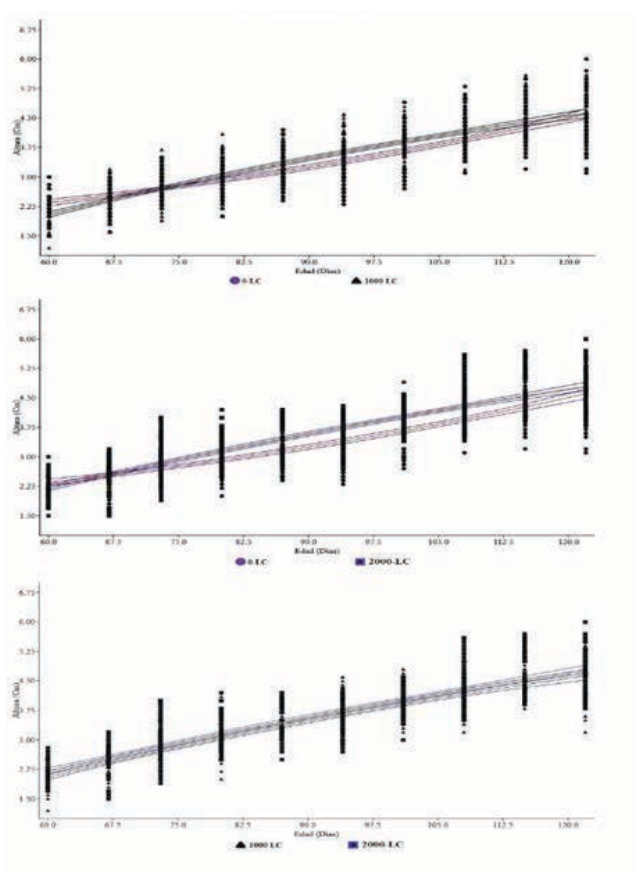
Altura

Los tres tratamientos para la variable de la altura el modelo de mejor ajuste fue el

exponencial para el tratamiento de 0-LC, mientras que para los tratamientos 1000-LC y 2000-LC, el modelo de mejor ajuste fue Von Bertalanffy, al igual que para el parámetro de la talla. Las alturas iniciales y finales para los tratamientos fueron de 2,5 y 4,5 cm, 2 y 4,6 cm, 2,2 y 4,7 para los tratamientos 0-LC, 1000-LC, 2000-LC, respectivamente. Adicionalmente, la ganancia de altura fue de 2,2 cm aproximadamente en 60 días.

Figura 5

Comparación de la altura en distintas concentraciones de L-Carnitina en juveniles de tilapia



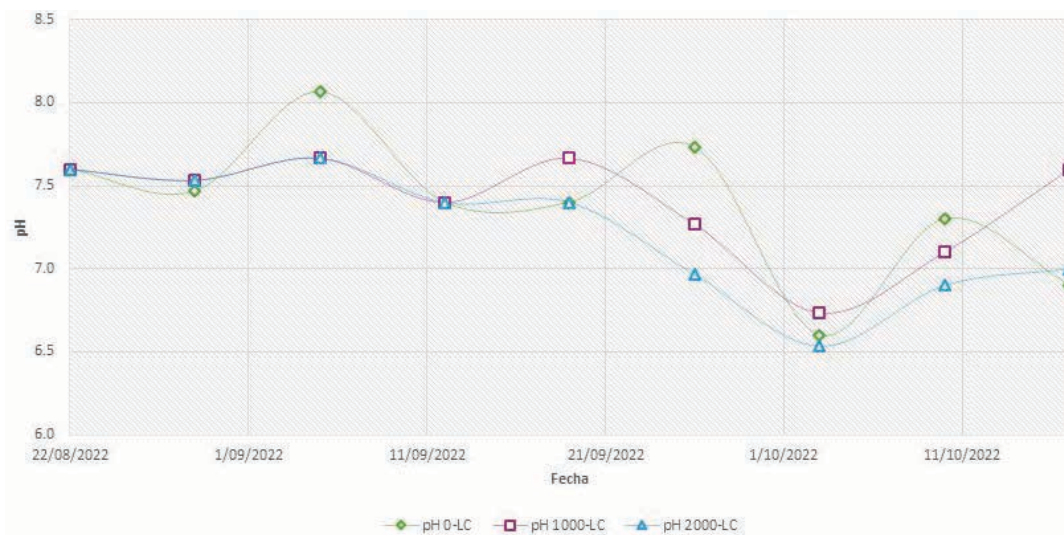
En la figura 5 se observa la comparación entre los resultados obtenidos para el parámetro de la altura de los tres tratamientos (0-LC, 1000-LC, 2000-LC) durante el periodo de monitoreo. Para los tratamientos de 0-LC y 1000-LC se presentó una mínima diferencia significativa entre los días 82 y 112; sin embargo, a los 120 días el rendimiento de ambos tratamientos es muy similar, entre los tratamientos 0-LC y 2000-LC se presentó una diferencia significativa entre los días 73 y 118. Por último, los tratamientos de 1000-LC y 2000-LC, no presentaron una diferencia significativa.

Calidad del agua

Para evaluar la calidad del agua de los estanques, se midieron varios parámetros *in situ* tales como el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura. En la figura 6, se observan los valores promedios respecto al pH obtenidos por estanques, para el estanque 0-LC se nota un comportamiento un poco más variante a comparación de los otros dos estanques con varias alzas y varios descensos en comparación con los tanques 1000-LC y 2000-LC, cuyos comportamientos son más estables y casi idénticos a lo largo del tiempo de muestreo.

Figura 6

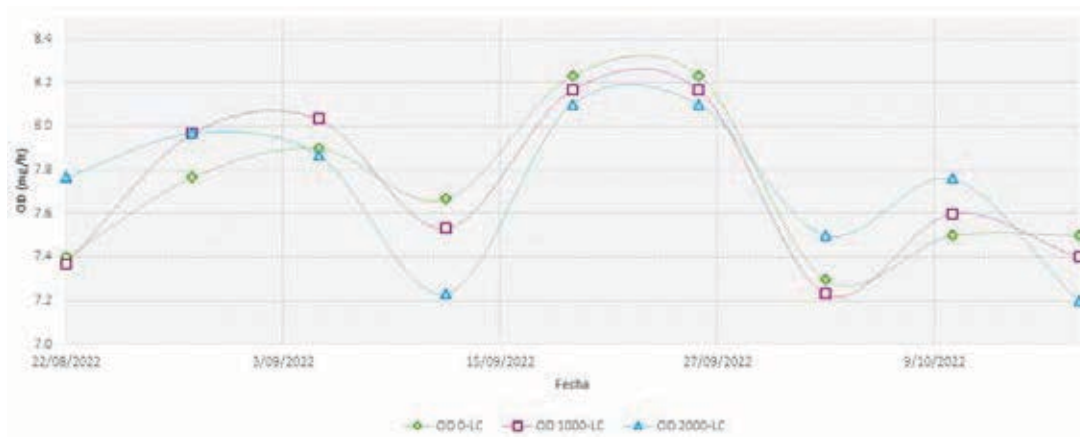
Valores de pH promedio de los estanques



Por otra parte, la variable del OD de los estanques, como se evidencia en la figura 7, es muy similar en los tres estanques dado a que el oxígeno disuelto es fundamental para la supervivencia de las tilapias. Respecto a este, los valores de los tres tanques se encuentran en un rango entre 5,8 y 8,3 mg/l, valores óptimos para el mantenimiento de la vida acuática.

Figura 7

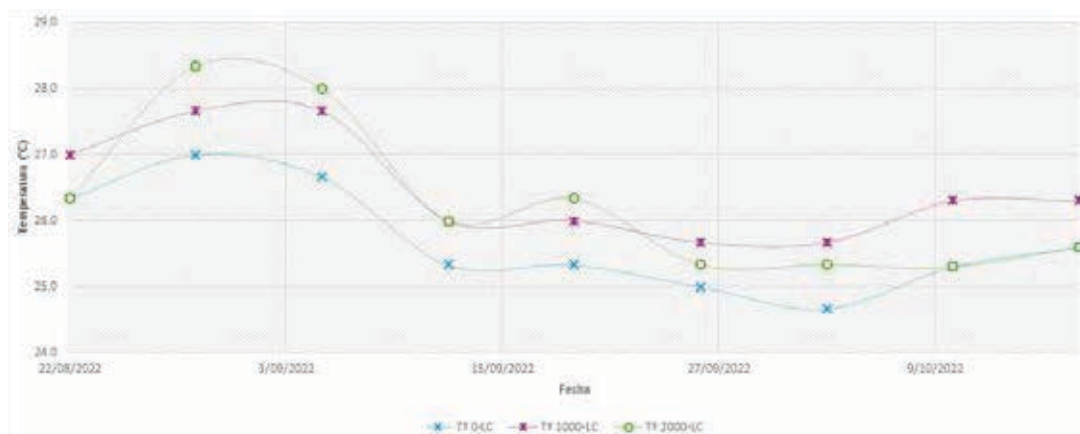
Variaciones de oxígeno disuelto (OD)



Para el parámetro de la temperatura, los tres tratamientos muestran un comportamiento homogéneo. En la figura 8 se observa que el tratamiento 0-LC presenta menores valores durante todo el monitoreo, mientras que la temperatura de los tratamientos 1000-LC y 2000-LC es muy similares. Sin embargo, los mayores valores de temperatura se dan en el tratamiento 2000-LC, el rango de temperatura de los tres estanques comprende valores desde los 24,7 °C hasta los 28,3 °C.

Figura 8

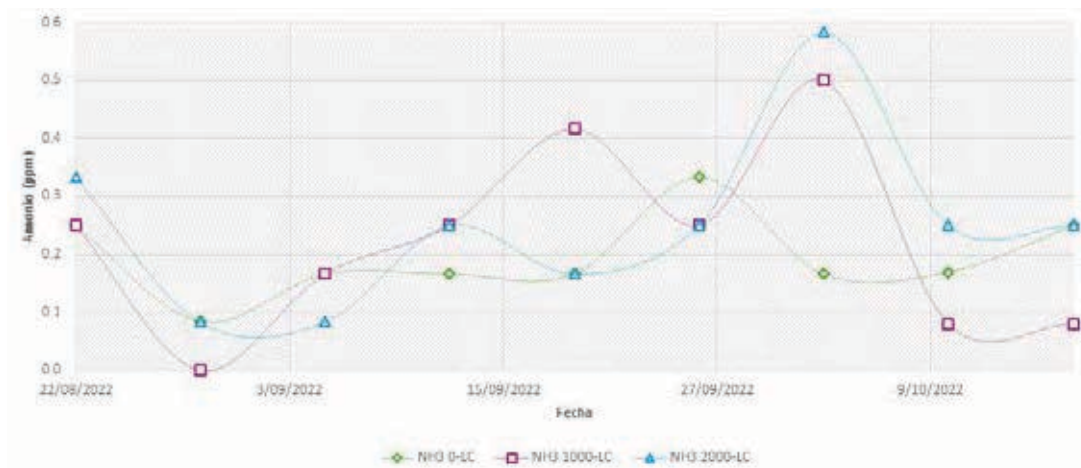
Temperatura (T°)



Ahora bien, en la figura 9 se evidencia el comportamiento del amonio medido en los tres tratamientos. Estos presentan un comportamiento diferente para cada tratamiento, para el tratamiento O-LC el valor mínimo medio es de 0,1 ppm y el máximo es de 0,33 ppm, para el tratamiento 1000-LC se observa un valor mínimo de 0 ppm y un valor máximo de 0,5 ppm. Por último, el tratamiento 2000-LC presenta un valor mínimo de 0,1 ppm y un valor máximo de 0,6 ppm.

Figura 9

Amonio (NH₃) promedio de los estanques



Por último, cabe resaltar que durante el periodo de monitoreo la mortalidad evidenciada fue muy baja, para el tratamiento 0-LC la mortalidad fue de 2.5 %, para el tratamiento 1000-LC fue del 0.83 % y para el tratamiento 2000-LC fue de 2.5 %, lo cual indica que durante el tiempo de monitoreo las condiciones y la calidad del agua estaban en óptimas condiciones, a diferencia del periodo de adaptación, periodo en el que se alcanzó la mayor cantidad de muertes.

Discusión

El uso de aditivos en las dietas de las tilapias surge como alternativa a los altos costos de producción. Esto debido a que su adición permite obtención de resultados muchos mejores en comparación con la implementación de las dietas comerciales. Estudios como los de Flores *et al.* (2002) y Peña, (2021) demuestran que el uso de aditivos en las dietas posee una influencia positiva en la producción de tilapias, aumentando parámetros como el crecimiento

y la ganancia de peso, mejorando así la producción y la calidad. Estudios como estos permiten el mejoramiento de los procesos productivos, dado que permiten la consecución de información sobre diversos métodos de mejoramiento.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que la implementación de un RAS, como lo indica Ingle de la Mora *et al.* (2003), permite un aumento en la tasa de sobrevivencia de los individuos con una tasa de crecimiento aceptable y más controlada. Además, que posibilita que los parámetros de calidad de agua evaluados se mantengan dentro los límites razonables y permiten la supervivencia de la especie cultivada. Estudios como los Barraza *et al.* (2007), indican que los sistemas de producción basados en tecnologías de recirculación de agua son una excelente alternativa y más aún en las regiones donde el recurso hídrico es escaso.

En ese sentido, el uso de la carnitina como aditivo en la dieta de producción de tilapia *Oreochromis sp*, como lo demuestran los resultados obtenidos, es favorable, ya que mejoran el desempeño de muchos de los parámetros en los que centra este tipo de producción. La carnitina es un agente que favorece la oxidación de las grasas por parte de las mitocondrias presentes en las células de los peces, ayudando a la liberación de acil-CoA que brinda energía al animal y ayuda a su crecimiento. Debido al aumento de la concentración de acil-CoA en el individuo, se disminuye la carga dentro del mismo. Esto debido a que el individuo no se centra en la producción de este compuesto, sino que, en su

lugar, genera más energía y por ende, provoca que este sea más activo y aproveche la energía en otro tipo de actividades y partes del cuerpo, lo que genera un cambio en las características físicas, como por ejemplo la ganancia muscular (Hannover & Germany, 2002).

Para el presente proyecto, se realizó un monitoreo durante 120 días, con una población de más de 300 individuos sometidos a tratamientos con diversas concentraciones de carnitina, aditivo que provocó un desarrollo del animal mucho más rápido que de la manera tradicional, lo cual se traduce en un mayor rendimiento en el momento de culminar el proyecto. Dado esto, se infiere que la carnitina puede actuar como un agente que aumenta el desempeño de los animales. Para analizar los efectos de L-Carnitina sobre los parámetros productivos, se compararon estos mismos parámetros entre los tres tratamientos implementados, dentro los cuales se presentaron diferencias significativas entre el tratamiento de control (0-LC) y los tratamientos con adición de carnitina (1000-LC y 2000-LC), mientras que entre los tratamientos con adición de carnitina (1000-LC y 2000-LC) no se presentaron diferencias significativas muy marcadas.

El desempeño en los parámetros productivos fue similar, teniendo en cuenta estudios como el de Dikel *et al.* (2010), el cual implementó concentraciones 300 y 600 mg kg⁻¹ de carnitina, y Keshavanath & Renuka. (1998), quienes implementaron concentraciones de 0, 0.25, 0.5, 0.75 y 1 g Kg⁻¹ de carnitina. Estos aítpres indican que el uso de este aditivo en la dietas comerciales favorece la obtención

de mejores parámetros productivos a comparación de dietas comerciales. Por otro lado, estudios como los de Schlechtriem *et al.* (2004), los cuales usaron una dieta comercial que contenía 8.1 ppm de carnitina, complementada con concentraciones de 150 a 450 ppm de L-carnitina, concluyen que la implementación del aditivo no influyó en el aumento del parámetro productivo del peso.

Para el caso de esta investigación, se obtuvo que el tratamiento 2000-LC tuvo los mejores rendimientos a comparación de los tratamientos 0-LC y 1000-LC; teniendo en cuenta que el tratamiento 0-LC corresponde al grupo de control, se tiene que el tratamiento 2000-LC obtuvo un incremento de 4,72 %, 1,9 % y 4,44 %, en los parámetros de peso, talla y altura respectivamente. Para el caso del estudio implementado por Dikel *et al.* (2010), el tratamiento de 600 mg kg⁻¹ (LC600) tuvo un incremento de 7.73 % en el peso en comparación al grupo de control.

Estudios como el de Osorio (2009) indican que no siempre se evidencia un mejor desempeño en el crecimiento del pez; además, indica que la biosíntesis de la carnitina puede mantener los niveles suficientes de tejido durante el crecimiento y, además, esto puede ser afectado por las interacciones ambientales y fisiológicas que tengan los peces durante su tiempo de tratamiento. Por otra parte, Pradhan *et al.* (2021) concluyen que una mayor concentración de carnitina maximiza la utilización de lípidos y otorga mayor eficiencia de proteínas; por lo tanto, se da un mejor rendimiento en el crecimiento de las tilapias.

Por último, Harpaz (2005), indica en su estudio la implementación de carnitina en las dietas comerciales posee varias veces resultados contradictorios debido a que existen estudios de la implementación de este aditivo en individuos de la misma especie, donde varios presentan un aumento en las características productivas y otros no. Sin embargo, en el estudio se resalta que los resultados positivos se evidencian por lo general cuando este aditivo se utiliza en peces muy pequeños o en experimentos de más de 4 meses con la implementación de grandes cantidades de este aditivo en las dietas comerciales. Este aditivo no solo puede mejorar las características productivas, sino que también actúa como un catalizador metabólico, un ahorrador de proteínas, un mejorador de la fertilidad y un ralentizador del envejecimiento de los peces.

Conclusión

En este estudio se evaluaron de tres tratamientos con diferentes niveles de L-carnitina (0-LC, 1000-LC y 2000-LC) durante un periodo de 120 días en un sistema de recirculación de agua (RAS) monitoreando tres parámetros productivos: talla, peso y altura. Se presentaron diferencias significativas entre el tratamiento 0-LC y los tratamientos 1000 y 2000-LC, mientras que entre los tratamientos 1000 y 2000-LC se presentan diferencias mínimas, con lo cual, se concluye que la implementación de carnitina como aditivo en la dieta comercial tuvo un resultado positivo en las características productivas monitoreadas. No obstante, las diferencias entre los tratamientos 1000-LC y 2000-LC fueron mínimas.

Bibliografía

- Alcaldía de La Ceja. (n.d.). Información del municipio. <https://www.laceja-antioquia.gov.co/mimunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx#>
- AUNAP (2014). *Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia –PlaNDAS*. MinAgricultura <https://www.aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Plan-Nacional-para-el-Desarrollo-de-la-Acuicultura-Sostenible-Colombia.pdf>
- Barraza, C. A. H., Guzmán, G. A., & Cantú, D. G. L. (2009). Sistemas de producción de acuicultura con recirculación de agua para la región norte, noreste y noroeste de México. *Revista mexicana de agronegocios*, 25, 117-130.
- Bertalanffy, L. V. (1952). *Theoretical models in biology and psychology*.
- Brown, D., & Rothery, P. (1993). Models in biology: mathematics, statistics and computing *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 67(1), 105–106.
- Centro Tecnológico de la Acuicultura (2017). Alimentación optimizada para tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) de Senegal. *Ctaqua*, 46. <https://www.ong-aida.org/wp-content/uploads/2017/06/Informe-Alimentación-Tilapia-v2.pdf>
- Dikel, S., Ünalán, B., Eroldoğan, O. T., & Hunt, A. Ö. (2010). Effects of dietary L-carnitine supplementation on growth, muscle fatty acid composition and economic profit of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(2).
- Dirección de Cadenas Pecuarias (2020). *Acuicultura en Colombia - Cadena de la Acuicultura*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Dos Santos Sánchez, M. S., Lins-Rodrigues, M., Pessini, J. E., Bittencourt, F., Boscolo, W. R., & Signor, A. (2021). Dietary supplementation with

- L-carnitine for Nile tilapia juveniles. *Aquaculture*, 539(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736616>
- Flores, M. L., Briones, L. E., & Miguel, A. (2002). Avances en la utilización de probióticos como promotores de crecimiento en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). *Avances en Nutrición Acuícola*.
- Food Agriculture Organization (2020). Estado mundial de la pesca y la acuicultura. *Marine Pollution Bulletin*, 3(1–2).
- Gamboa, V. (2014). Sistemas de recirculación de agua (RAS) en Piscicultura. *Sistema Institucional de Gestión de Revistas Académicas*, 12, (7).
- Gauss, C. F. (1877). *Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium* (Vol. 7). FA Perthes.
- Gompertz, B. (1825). XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. In a letter to Francis Baily, Esq. FRS &c. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, (115), 513-583.
- Hannover, J. H., & Germany. (2002). The physiological role of L-carnitine. *Lohmann information*, 27, 15-21.
- Harpaz, S. (2005). L-carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition—a review. *Aquaculture*, 249(1-4), 3-21.
- Ingle de la Mora, G., Villareal-Delgado, E. L., Arredondo-Figueroa, J. L., Ponce-Palafox, J. T., & Barriga-Sosa, I. D. L. A. (2003). Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica*, 13(4), 247-253.
- Keshavanath, P., & Renuka, P. (1998). Effect of dietary L-carnitine supplements on growth and body composition of fingerling rohu, *Labeo rohita* (Hamilton). *Aquaculture Nutrition*, 4(2), 83-88.
- Merino, M. C. (2021). *Acuicultura en Colombia*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca -AUNAP. <https://www.aunap.gov.co/images/convenio/presentacion-tecnica-acuicultura-en-colombia.pdf>
-

- Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 135(3), 370-384.
- Nuñure Ortega, J. (2019). *Caracterización fenotípica e identificación de especies patógenas de Aeromonas sp. aisladas de truchas arcoíris (Oncorhynchus mykiss) clínicamente enfermas de piscigranjas del Perú*. [Tesis pregrado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- Ozorio, R. (2009). Dietary L-Carnitine Supplementation to Cultivated Fish: A Mini-Review. *Current Nutrition & Food Science*, 5(1), 40-48. <https://doi.org/10.2174/157340109787314758>
- Peña, O. I. (2023). *Inclusión de capsaicina como aditivo de uso potencial en dietas comerciales para tilapia roja (oreochromis sp)*. [Monografía]. Universidad de Cundinamarca
- Pradhan, C. S. (2021). Suitable ratio of dietary L carnitine and α ketoglutarate improves growth and health performance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 47, 1933-1950. <https://doi.org/10.1007/s10695-021-01020-w>
- Sánchez Calderón, J. D. (2015). Aislamiento e identificación de aeromonas spp. B-hemolíticas y vibrio spp. potencialmente virulentos, en pescados y mariscos comercializados en Bogotá, Colombia. Universidad de los Andes
- Schlechtriem, C., Bresler, V., Fishelson, L., Rosenfeld, M., & Becker, K. (2004). Protective effects of dietary l-carnitine on tilapia hybrids (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) reared under intensive pond-culture conditions. *Aquaculture Nutrition*, 10(1), 55-63.
-

Evaluación del efecto fitotóxico de diferentes funguicidas con base en triazoles y estrobirulinas en Crisantemo (*Chrysanthemum sp.*)

*Evaluation of the phytotoxic effect of different fungicides based on triazoles and strobirulines in Chrysanthemum (*Chrysanthemum sp.*)*

**Andrés Felipe Guerra Quintero¹, Dagoberto Castro Restrepo²,
Carlos Leonardo Guerra Marín³**

1 Docente investigador. Grupo de Investigación en Sanidad Vegetal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Católica de Oriente. Correo: andres.guerra0729@uco.net.co. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0300-3682>

2 Coordinador Unidades de Investigación. Grupo de Investigación en Biotecnología. Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación. Universidad Católica de Oriente. Correo: dcastro@uco.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6599-9332>

3 Docente investigador. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Católica de Oriente. Correo: cguerra@uco.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9657-6359>

Resumen

Los fungicidas son sustancias químicas comúnmente usadas para evitar el crecimiento o permitir la eliminación de hongos perjudiciales para las plantas. Dentro de los grupos de fungicidas existentes, dos de los más importantes son los triazoles y estrobirulinas. Los triazoles basan su accionar en la inhibición del ergosterol, afectando la permeabilidad de la membrana lipídica. Por su parte, las estrobirulinas son derivados sintéticos producidos de forma natural por *Strobilurus tenacellus*, funcionando como inhibidores de la respiración mitocondrial. A ambos grupos se les ha reportado fitotoxicidad en diferentes plantas, siendo conocido su uso en cultivos como el crisantemo, de importancia económica en Colombia por su carácter de exportación. Con base en esto, se diseñó un estudio para determinar los efectos fitotóxicos de diferentes productos fungicidas sobre plantas de crisantemo. Para esto, se implementaron 10 tratamientos con

fungicidas –ingredientes activos: Azoxistrobina + Difenconazol, Azoxistrobina, Flutriafol, Hexaconazol, Isopyrazam, Myclobutanil, Penconazol + Fenpropidin, y Mancozeb + Azoxistrobina–, con un testigo absoluto y un tratamiento de rotación con los anteriores productos, con cuatro repeticiones por tratamiento. Se usó un diseño experimental unifactorial completamente aleatorizado para el estudio, con variables como altura, síntomas de fitotoxicidad y crecimiento general. Los resultados indicaron que existe un efecto sobre las plantas de crisantemo, de manera que productos como Penconazol + Fenpropidin, Mancozeb + Azoxistrobina, y Flutriafol reducen el crecimiento y desarrollo de esta flor, con síntomas importantes de fitotoxicidad. Por su parte, productos como Isopyrazam, Myclobutanil y Azoxistrobina + Difenconazol no poseen efectos fitotóxicos aparentes, presentando un incremento en crecimiento respecto al tratamiento testigo implementado.

Palabras clave

Orienteantioqueño, Crecimiento, Roya Blanca, Control químico.

Abstract

Fungicides are chemicals commonly used to prevent growth, or to allow the removal of fungi that are harmful to plants. Among the existing groups of fungicides, two of the most important are the triazoles and the strobirulines. The triazoles base their action on the inhibition of the ergosterol, affecting the permeability of the lipid membrane. On the other side, the strobirulines are synthetic derivatives produced naturally by *Strobilurus tenacellus*, functioning as inhibitors of mitochondrial respiration. Both groups have been reported to have phytotoxicity in different plants, and its use in crops as chrysanthemums is well known, a crop that possess economic importance in Colombia because of its export character. Based on this, a study was designed to determine the phytotoxic effects of different fungal products on chrysanthemum plants. For this, ten treatments with fungicides were

implemented: Azoxistrobina + Difenconazol, Azoxistrobina, Flutriafol, Hexaconazol, Isopyrazam, Myclobutanil, Penconazol + Fenpropidin, y Mancozeb + Azoxistrobina, with an absolute control treatment, and a rotation treatment with the previous products, with four repetitions per treatment. A one factor experimental design para used for this study, with variables like height, phytotoxicity symptoms, and general growth. The results indicated that there is an effect on chrysanthemum plants, with products such as Penconazole + Fenpropidin, Mancozeb + Azoxistrobina, and Flutriafol reduce growth and development, with important symptoms of phytotoxicity. On the other hand, products such as Isopyrazam, Myclobutanil and Azoxistrobina + Difenconazol do not show apparent phytotoxic effects, resulting in increased growth compared to the control implemented.

Keywords

Eastern Antioquia, Growth, White Rust, Chemical control.

Introducción

Los fungicidas son sustancias químicas implementadas para impedir el crecimiento y eliminar hongos perjudiciales para las plantas. Estos deben ser únicamente fungitóxicos, nunca fitotóxicos, y, además, tener una alta estabilidad ante diferentes condiciones climáticas (Siqueira, 2007). Dentro de los grupos de fungicidas existentes, dos de los más importantes son los triazoles y las estrobirulinas.

Los triazoles se caracterizan por tener un principio activo basado en la inhibición del ergosterol, afectando la permeabilidad de la membrana lipídica del hongo; estos fungicidas son sistémicos, curativos y erradicantes, y tienen la capacidad de entrar en los tejidos y moverse de forma acropétala (Arregui & Puricelli, 2013). Llácer *et al.* (1996) mencionan que su mecanismo de acción está relacionado con la demetilación del carbono 14 en la biosíntesis del ergosterol, reportando resistencia cruzada con piridinas y piperacinas.

Los triazoles se absorben por tejidos subapicales jóvenes y hojas en aspersión foliar, mejorando la absorción con el uso de surfactantes; además, pueden ingresar a través de las raíces (Barret & Bartusca, 1982).

Por su parte, las estrobirulinas son derivados sintéticos de compuestos producidos de

forma natural por *Strobilurus tenacellus*, presentando una actividad antifúngica de alto espectro, esto debido a que son inhibidores de la respiración mitocondrial, afectando el transporte de electrones a nivel del complejo III (Arregui & Puricelli, 2013).

Las estrobirulinas son fungicidas mesostémicos, preventivos y curativos. Además, poseen la capacidad de inhibir la síntesis de etileno, retrasando los procesos de senescencia, incrementando el rendimiento al aumentar la asimilación de N, como en los cereales de invierno (Arregui & Puricelli, 2013).

Por otro lado, se tiene que a algunos de los fungicidas de estos grupos se les ha reportado fitotoxicidad. La fitotoxicidad es el efecto dañino que tienen algunas sustancias químicas sobre los órganos de las plantas. Está relacionado con el empleo de productos fitosanitarios o fertilizantes y con la alta radiación (Cot & Miralles, 2014).

Para Moreno & Peñaranda (2019),

la fitotoxicidad es un término que se emplea para describir el grado de efecto tóxico producido por una mezcla de aspersión o compuesto determinado que causa desordenes fisiológicos en las plantas y que se traduce en

alteraciones del aspecto, crecimiento, vigor, desarrollo y productividad de las plantas. (párr. 1)

También, los autores señalan que la fitotoxicidad se ve como la expresión fenológica en los vegetales por diversos factores físicos y químicos, bióticos y abióticos, y que se pueden expresar en cualquiera de los órganos de una planta. Normalmente se expresa con síntomas de quemazón de puntas de hojas, llegando a clorosis parcial o generalizada, con consecuencias que van desde el retraso del crecimiento hasta la pérdida de la cosecha.

Autores como Geuns & Vendrig (1974) y Geuns (1975) reportan que el efecto secundario de los fungicidas azoles puede consistir en la inhibición de la síntesis de esteroides, lo que repercute en una disminución de la altura del tallo.

En el cultivo de crisantemo, estos grupos de productos son constantemente implementados. Esta planta se ve afectada por una enfermedad de origen fungoso conocida comúnmente como la Roya Blanca (*Puccinia horiana* Henn.), que ocasiona grandes pérdidas económicas a los productores y distribuidores de la especie vegetal, especialmente para la exportación a Estados Unidos y otros países (Dirección General de Sanidad Vegetal, 1993; Peterson *et al.*, 1978).

Para disminuir o erradicar esta enfermedad, se han realizado investigaciones referentes al tipo de resistencia de variedades comerciales,

control biológico (Srivastava *et al.*, 1986) y control químico. Respecto al último, productos como triforine, triadimefón, tebuconazol, bitertanol, propiconazol, miclobutanil y diclobutrazol, del grupo de los fungicidas azoles en que se incluyen los triazoles, han demostrado efectividad para el control de roya blanca en crisantemo, pero pueden ser fitotóxicos, o inhibir el desarrollo de las plantas (Grunwald, 1980).

De esta forma, este estudio buscó evaluar los efectos fitotóxicos que se presentan en crisantemo con el uso continuo de productos fungicidas tipo triazoles y estrobirulinas, enfocados en la prevención de la aparición de Roya Blanca (*P. horiana* Henn).

Materiales y Métodos

Área de Experimentación

El estudio se realizó en una empresa exportadora de crisantemo, en el departamento de Antioquia, Colombia, en la región del Orienteantioqueño, en condiciones de invernadero. Las preparaciones de productos y planificación se realizaron desde el laboratorio de biorregulación de la empresa, siguiendo las recomendaciones de la etiqueta en cuanto a dosis de cada químico.

Este estudio tuvo acompañamiento y asesoría de la Universidad Católica de Oriente para su realización metodológica, así como para el análisis de datos obtenidos.

Metodología

Para el estudio, se realizó la siembra, en macetas plásticas, de esquejes enraizados de crisantemo tipo pompón, de variedad color blanco tipo margarita, de aproximadamente dos semanas desde su siembra en el área de propagación de la empresa. Se realizó la siembra de dos esquejes por maceta, de tal forma que pudieran tener los recursos suficientes para presentar crecimiento y desarrollo adecuado, con buena optimización del espacio y recursos presentes.

Las macetas sembradas se ubicaron en el invernadero de experimentación del laboratorio de biorregulación de la empresa, lugar con protección contra la precipitación, vientos y demás problemas ambientales, así como mediana protección contra los problemas biológicos.

Como en el mencionado invernadero no se presentaba luz artificial, el estudio se realizó sin la presencia de esta, dejando que las plantas tuvieran días cortos, lo cual tuvo como consecuencia la obtención de material con menor altura a la normal. Sin embargo, esto no fue impedimento para evidenciar los efectos adversos de los triazoles y estrobirulinas.

Como el crisantemo sin luz posee aproximadamente un ciclo de 8 a 9 semanas desde la siembra del esqueje enraizado en el lugar final, el periodo de estudio que se implementó fue de 9 semanas. Vale la claridad de que la primera fue de adaptación del

material al invernadero de estudio. Durante las 8 semanas restantes, se realizó aplicación de los productos seleccionados (una vez por semana), según el tratamiento correspondiente.

A la vez, se mantuvo adecuadas condiciones agronómicas para las plantas en evaluación, con riego diario, aporte nutricional al comienzo del estudio y monitoreo y eliminación de problemas fitosanitarios.

Las aplicaciones de los productos químicos se realizaron todos los miércoles en las horas de la mañana, usando un atomizador plástico para alcanzar un total cubrimiento del área foliar de las plantas. En cada semana se realizó la evaluación de los efectos causados por los productos, haciendo uso de las normas ICONTEC (1976).

En el estudio, se usó una escala de evaluación de fitotoxicidad de 0 a 5, de la siguiente forma: 0 = Plantas iguales al testigo absoluto; 1 = Leve clorosis y presencia de pecas; 2 = Clorosis acentuada y ligera reducción distinguible en el crecimiento o presencia de pocas manchas; 3 = Inhibición del crecimiento, clorosis marcada y anormalidades morfológicas; 4 = Plantas muy afectadas, sin posibilidad de recuperación presencia de partes de tejido verde; y 5 = Necrosis y muerte de la planta (ICONTEC, 1976).

Igualmente, se realizó la medición de alturas semanalmente (usando regla y flexómetro), información que permitió la formación de curvas de crecimiento para cada tratamiento.

Con la altura inicial y final, se pudo hallar cambio en la altura de la planta para la observación del crecimiento y desarrollo.

En la última semana del estudio, al momento del corte de los tallos florales, se realizó la medición del diámetro basal (usando pie de rey en el proceso), el número de hojas totales, el número de flores útiles a corte, observación de la calidad general del tallo obtenido, el peso de los tallos (usando balanza tipo pesola), la calidad de las flores por cada tallo y la medición de entrenudos.

Para las variables de calidad, se hizo uso de una escala de 1 a 5, donde 5 representa la mejor calidad presente. Esta escala idéntica a la implementada por el área de postcosecha de la empresa, con sus parámetros y características.

Diseño experimental

Para el estudio, se hizo uso de un diseño con estructura de tratamientos unifactorial completamente aleatorizado. Los tratamientos consistieron en siguientes ingredientes activos: Azoxistrobina + Difenconazol, Azoxistrobina, Flutriafol, Hexaconazol, Isopyrazam, Myclobutanil, Penconazol + Fenpropidin y Mancozeb + Azoxistrobina. La tabla correspondiente al anexo 1 resume la información concerniente a cada producto mencionado.

Además, se implementó un tratamiento de rotación, en el cual, semanalmente, se hizo la aplicación de uno de los productos

mencionados, teniendo en cuenta los mecanismos y modos de acción de cada uno. La rotación se llevó a cabo de la siguiente manera:

Rotación = Hexaconazol – Azoxistrobina + Difenconazol – Myclobutanil – Isopyrazam – Flutriafol – Penconazol + Fenpropidin – Mancozeb + Azoxistrobina – Azoxistrobina.

Se tuvo a la vez un tratamiento correspondiente a un testigo relativo, rociando las plantas con agua destilada, simulando el comportamiento natural del material.

Para cada tratamiento, se realizaron cuatro repeticiones (cuatro plantas), con dos macetas de dos plantas cada una, completando así 10 tratamientos de cuatro repeticiones. Se realizó análisis de varianza para determinar la existencia de diferencias significativas en los resultados obtenidos usando la prueba de Tukey.

Resultados y Discusión

Valoración en la escala de fitotoxicidad

Usando la escala de fitotoxicidad propuesta, se hallaron los datos resumidos en la tabla 1.

Tabla 1

Resultados obtenidos en la valoración en la escala de fitotoxicidad para los tratamientos implementados

Tratamiento	R1*	R2	R3	R4	Promedio
Testigo Relativo	-	-	-	-	-
Azoxistrobina + Difenconazol	0	0	0	0	0
Azoxistrobina	0	0	0	0	0
Flutriafol	1	1	1	1	1
Hexaconazol	0	0	0	0	0
Isopyrazam	0	0	0	0	0
Myclobutanil	0	0	0	0	0
Penconazol + Fenpropidín	3	3	3	3	3
Mancozeb + Azoxistrobina	0	0	0	0	0
Rotación	0	0	0	0	0

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Según lo encontrado, la mayoría de los tratamientos implementados no presentaron síntomas de fitotoxicidad, sin tener diferencias con el testigo. El tratamiento con Flutriafol presentó un grado de fitotoxicidad 1, con hojas levemente cloróticas, con la característica especial de ser crujientes y más quebradizas de lo normal.

Con el tratamiento Penconazol + Fenpropidín, el grado de fitotoxicidad alcanzado fue de 3, con una fuerte inhibición del crecimiento, además de presentar una intensa quemazón en las hojas. En el anexo 2 se puede observar los síntomas mencionados.

De esta forma, es posible decir que, de los productos implementados, el más significativo en términos de fitotoxicidad es Penconazol + Fenpropidín, ya que causó importantes efectos sobre las plantas de crisantemo al usarlo de forma continua. Esto advierte que se trata de un producto químico que requiere de una aplicación cuidadosa en los cultivos de esta flor. Por otro lado, el Flutriafol también se vuelve un producto de cuidado, pues puede llegar a afectar negativamente las plantas, disminuyendo la calidad del material a obtener, pero teniendo la posibilidad de ser usado con mayor frecuencia que Penconazol + Fenpropidín.

Es importante mencionar que productos como Mancozeb + Azoxistrobina, y Azoxistrobina causan un manchado del follaje con pocas aplicaciones, lo que reduce fuertemente la calidad del tallo a ser cortado. Esto hace que, a pesar de no tener un efecto fitotóxico, no puedan ser usados múltiples veces por efectos visuales.

Por su parte, el tratamiento de rotación no presentó problemas de fitotoxicidad aparentes, teniendo un buen crecimiento y formación de estructuras. El único problema que se presentó con este tratamiento fue un ligero manchado causado por la aplicación de Mancozeb + Azoxistrobina y Azoxistrobina, lo que le resta calidad.

Estos resultados permiten pensar en un uso continuo de los productos evaluados, importante para proteger contra los problemas causados por la roya blanca. Sin embargo, casi todos presentan el mismo mecanismo de acción, por lo que la generación de resistencia por parte del hongo se vuelve factible. Por ende, es necesario buscar otros fungicidas con diferentes mecanismos de acción para complementar un diseño de rotación como el presentado en este estudio.

Alturas: Curvas de crecimiento

En cuanto a las alturas obtenidas semanalmente para los tratamientos, las tablas 2 a la 11 resumen los datos encontrados para cada uno de estos.

Tabla 2

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento testigo relativo durante el tiempo del estudio

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	9.5	9	7	9	8.625
1	12	11.5	10.5	11	11.25
2	18.5	17	17	16	17.125
3	26.5	24	24	23	24.375
4	45	41	38	39	40.75
5	53	47	44.5	45.5	47.5
6	59	53	49	49	52.5
7	63	58.5	53.5	53	57
8	66	61	56	56	59.75
Rotación	0	0	0	0	0

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Tabla 3

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento Azoxistrobina + Difenconazol

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	7.5	6	8	7.5	7.25
1	9	8	10	10.5	9.375
2	15	13.5	16	17.5	15.5
3	21.5	20.5	23.5	24.5	22.5
4	41	38	44	45	42
5	50.5	47	53.5	52.5	50.875
6	57.5	53.5	60	59	57.5
7	63.5	59	66	64	63.125
8	67.5	62.5	68	68	66.5

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Tabla 4

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento Azoxistrobina durante el tiempo del estudio

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	8	8.5	8	7	7.875
1	11	11.5	10	9.5	10.5
2	17.5	19	17	15	17.125
3	26	28	24	23	25.25
4	45	46	43	41	43.75
5	52	52	53	45.5	50.625
6	56.5	55	55	53	54.875
7	61	59	61	58.5	59.875
8	62	60.5	64	64	62.625

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Tabla 5

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento Flutriafol durante el tiempo del estudio

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	9	8.5	7.5	9	8.5
1	11	11	9.5	11.5	10.75
2	17	16	14	17.5	16.125
3	21.5	22	19.5	24	21.75
4	35	41	30	42	37
5	39.5	49.5	36	51.5	44.125
6	45	55	40.5	58	49.625
7	50.5	61	47	64	55.625
8	53	64.5	50.5	67.5	58.875

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Tabla 6

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento Hexaconazol durante el tiempo del estudio

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	7	7	9	8	7.75
1	8	8.5	10.5	9	9
2	16	15.5	18.5	15.5	16.375
3	23	23.5	26.5	22.5	23.875
4	42.5	43	45	38.5	42.25
5	52	51	53	45.5	50.375
6	57	55.5	57.5	52	55.5
7	62.5	60.5	62	58	60.75
8	64.5	63	64.5	61	63.25

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Tabla 7

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento Isopyrazam durante el tiempo del estudio

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	9.5	10.5	9.5	11	10.125
1	12.5	14	12.5	14	13.25
2	20	22.5	20	22.5	21.25
3	31	32	29.5	32.5	31.25
4	53	49	52	56.5	52.625
5	60	55.5	59.5	64.5	59.875
6	65.5	59	64	68.5	64.25
7	69.5	63.5	68.5	73	68.625
8	72	66	71.5	76	71.375

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Tabla 8

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento Myclobutanil durante el tiempo del estudio

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	9	10	10	10	9.75
1	11.5	12.5	13	13	12.5
2	18.5	18.5	21	21.5	19.875
3	29	27	31	32	29.75
4	53	48	52	49	50.5
5	61.5	56	59.5	54.5	57.875
6	66.5	61	64.5	57.5	62.375
7	71	65.5	68.5	59.5	66.125
8	74.5	68	71.5	62	69

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Tabla 9

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento Penconazol + Fenpropidin durante el tiempo del estudio

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	9	11	11.5	10.5	10.5
1	11.5	14	14	12.5	13
2	18	20	20.5	17	18.875
3	25	24	25	20	23.5
4	35	32	38.5	27	33.125
5	38	33.5	41	28	35.125
6	40.5	36	43.5	29.5	37.375
7	44	38.5	47.5	31	40.25
8	45.5	41.5	50	33.5	42.625

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Tabla 10

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento Mancozeb + Azoxistrobina durante el tiempo del estudio.

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	10	10.5	10.5	11	10.5
1	12	12	12	13.5	12.375
2	18	18	18	20	18.5
3	22	24.5	25.5	25.5	24.375
4	39	44	45	40	42
5	45	48	53	43	47.25
6	50	52	57.5	46.5	51.5
7	53	55.5	61.5	49	54.75
8	55	57	63	50.5	56.375

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Tabla 11

Alturas (en cm) obtenidas para el tratamiento Rotación durante el tiempo del estudio

Semana	R1*	R2	R3	R4	Promedio
0	10.5	10	9.5	10	10
1	12	11.5	10.5	12	11.5
2	19	16.5	18	20	18.375
3	27	24	25.5	28.5	26.25
4	45	43	47.5	50	46.375
5	53.5	59	55	60	56.875
6	59	64	63	65.5	62.875
7	63.5	67.5	68	71	67.5
8	66	60	71	73	67.5

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Para un mejor entendimiento de los datos suministrados por las anteriores tablas, las figuras 1 a 10 resumen gráficamente los valores encontrados semanalmente para cada repetición, así como los promedios calculados, volviéndose así curvas de crecimiento de las plantas.

Con estas figuras, es posible determinar que, con cada tratamiento, existe un efecto individual, teniendo algunas plantas mayores o menores tamaños dentro de cada uno. Estas diferencias en los tamaños finales de las plantas son más visibles en los tratamientos testigo, Flutriafol, Isopyrazam, Myclobutanil, Penconazol + Fenpropidin y Mancozeb + Azoxistrobina. Con Azoxistrobina + Difenconazol, Azoxistrobina, Hexaconazol y Rotación no se presenta diferencia marcada con las alturas finales.

Se considera que esto puede deberse a la diferencia de altura inicial en los esquejes sembrados; se usó un material que no era homogéneo en su altura y, por ende, era esperado que las alturas finales fueran diferentes entre las plantas de un mismo tratamiento.

Igualmente, las alturas varían debido al efecto propio de cada fungicida, así como al comportamiento propio de cada individuo, que se modifican según los pequeños cambios que se obtienen en el material genético a medida que se realiza la multiplicación vegetativa.

Tomando los datos promedios de las tablas 2 a la 11 se organizó la tabla 12, la

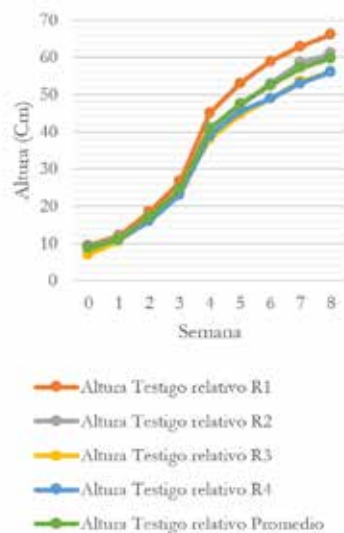
cual funciona como material base para la formación de la figura 11.

Según esta información, el tratamiento Isopyrazam es el que mayores valores de altura finales obtiene, mientras que el tratamiento Penconazol + Fenpropidin obtiene los menores. Por su parte, el tratamiento testigo está en medio de los dos anteriores, con los demás tratamientos cercanos a este.

Igualmente, el tratamiento Myclobutanil, Azoxistrobina + Difenconazol y Rotación obtuvieron valores finales de altura superiores a los del testigo, lo que resulta ser importante en el análisis.

Figura 1

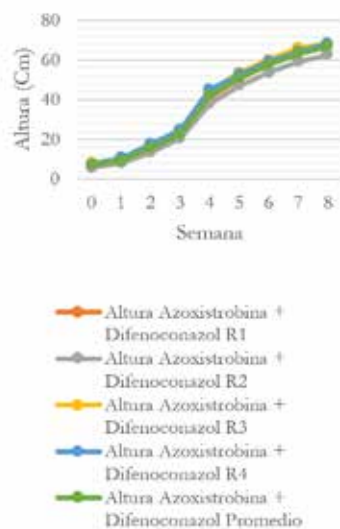
Curvas de altura para el tratamiento testigo.



Nota. Elaboración propia.

Figura 2

Curvas de altura para el tratamiento Azoxistrobina + Difenocconazol



Nota. Elaboración propia.

Figura 3

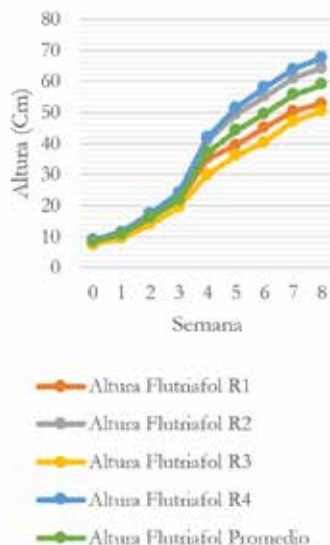
Curvas de altura para el tratamiento Azoxistrobina



Nota. Elaboración propia.

Figura 4

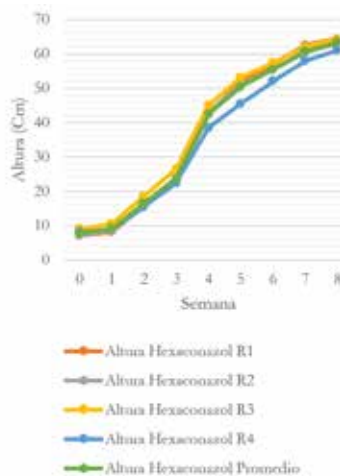
Curvas de altura para el tratamiento Flutriafol



Nota. Elaboración propia.

Figura 5

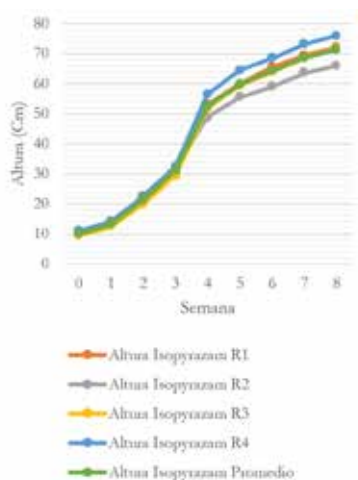
Curvas de altura para el tratamiento Hexaconazol



Nota. Elaboración propia.

Figura 6

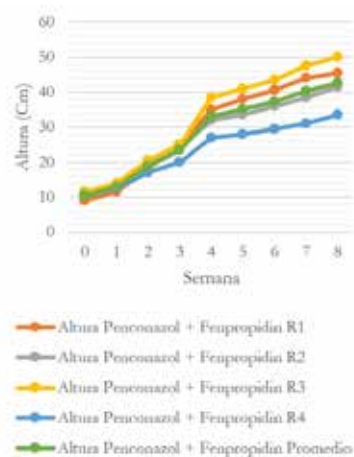
Curvas de altura para el tratamiento Isopyrazam



Nota. Elaboración propia.

Figura 8

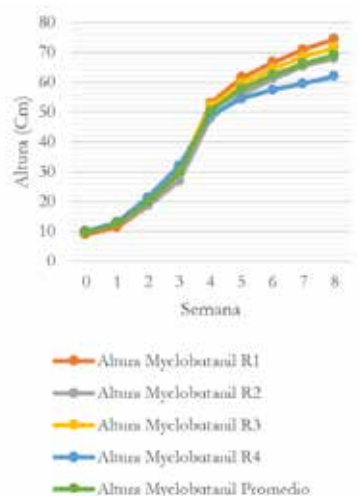
Curva de altura para el tratamiento Penconazol + Fenpropidin



Nota. Elaboración propia.

Figura 7

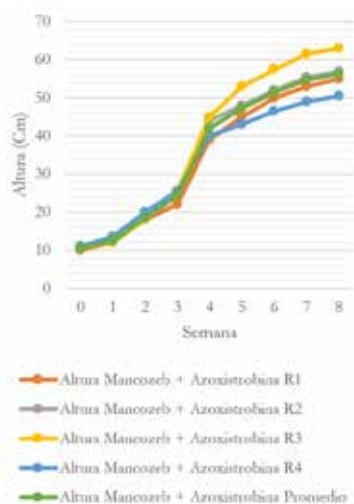
Curvas de altura para el tratamiento Myclobutanil



Nota. Elaboración propia.

Figura 9

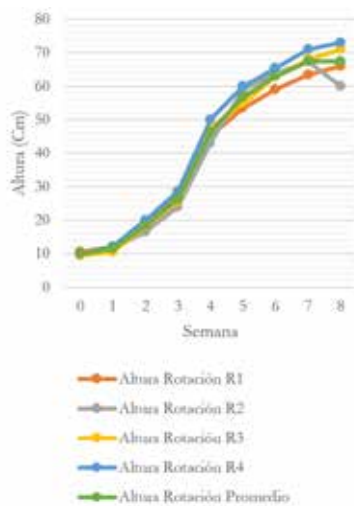
Curvas de altura para el tratamiento Mancozeb + Azoxistrobina



Nota. Elaboración propia.

Figura 10

Curvas de altura para el tratamiento rotación



Nota. Elaboración propia.

Tabla 12

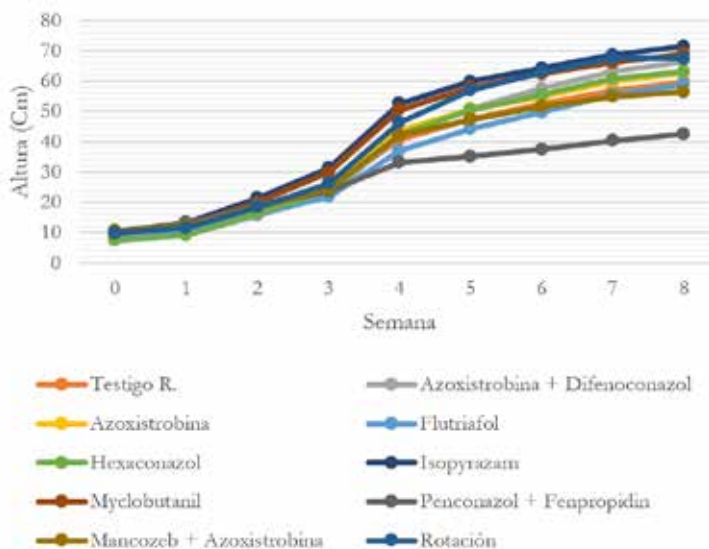
Alturas promedio semanales (en cm) para los tratamientos implementados en el estudio.

Semana	Testigo Relativo	Azox. + Difenoc.	Azoxis.	Flutriaf.	Hexac.	Isopyr.	Myclob.	Penc. + Fenp.	Manc. + Azoxist.	Rotación
0	8.625	7.25	7.875	8.5	7.75	10.125	9.75	10.5	10.5	10
1	11.25	9.375	10.5	10.75	9	13.25	12.5	13	12.375	11.5
2	17.125	15.5	17.125	16.125	16.375	21.25	19.875	18.875	18.5	18.375
3	24.375	22.5	25.25	21.75	23.875	31.25	29.75	23.5	24.375	26.25
4	40.75	42	43.75	37	42.25	52.625	50.5	33.125	42	46.375
5	47.5	50.875	50.625	44.125	50.375	59.875	57.875	35.125	47.25	56.875
6	52.5	57.5	54.875	49.625	55.5	64.25	62.375	37.375	51.5	62.875
7	57	63.125	59.875	55.625	60.75	68.625	66.125	40.25	54.75	67.5
8	59.75	66.5	62.625	58.875	63.25	71.375	69	42.625	56.375	67.5

Nota. Elaboración propia.

Figura 11

Curvas de alturas promedio para los tratamientos implementados en el estudio



Nota. Elaboración propia.

Para solucionar el problema de heterogeneidad del material, el análisis de la altura se hace calculando el cambio en la altura, es decir, la diferencia aritmética entre la altura final alcanzada y la altura inicial del material.

En el anexo 3 se muestra la comparación gráfica de los tratamientos con el testigo.

Alturas: cambio en la altura

Usando las alturas iniciales y finales obtenidas en las mediciones, se generó la tabla 13, con la cual se realizó el análisis de varianza correspondiente.

Tabla 13

Cambio en la altura (en cm) encontrado para cada tratamiento en el estudio

Tratamiento	R1*	R2	R3	R4
Testigo Relativo	56.5	52	49	47
Azoxistrobina + Difencon.	60	56.5	60	60.5
Azoxistrobina	54	52	56	57
Flutriafol	44	56	43	58.5
Hexaconazol	57.5	56	55.5	53
Isopyrazam	62.5	55.5	62	65
Myclobutanil	65.5	58	61.5	52
Penconazol + Fenpropidin	36.5	30.5	38.5	23
Mancozeb + Azoxistrobina	45	46.5	52.5	39.5
Rotación	55.5	50	61.5	63

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Usando el test de Kolmogórov-Smirnov, se comprobó que los datos siguen un comportamiento normal, y con el test de Bartlett se comprobó que existe homogeneidad de varianzas. De esta forma, es posible realizar el análisis de varianza, el cual indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos del estudio.

Usando el test de Tukey, se encontraron los resultados que se resumen en la tabla 14, la cual muestra, además, los promedios de cada tratamiento del estudio. En la figura 12 se pueden observar gráficamente los mencionados.

Tabla 14

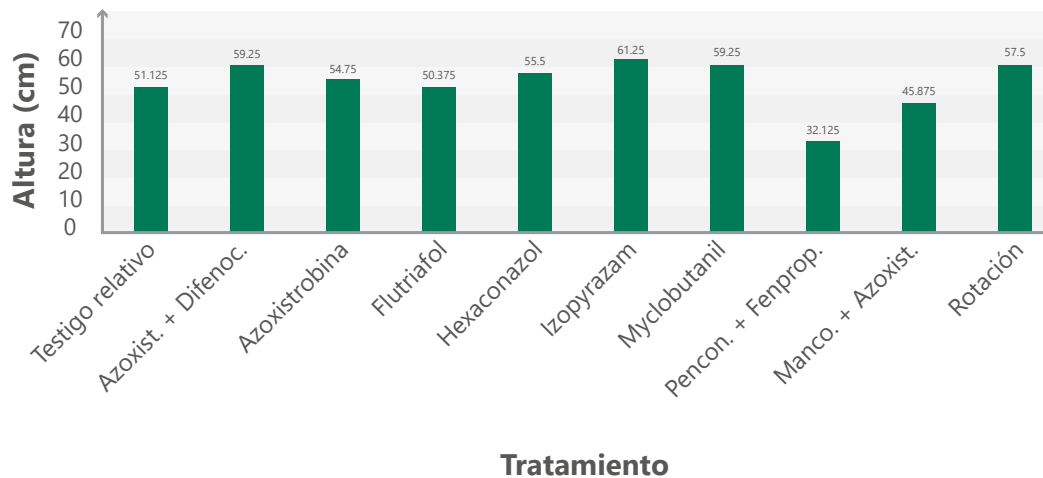
Resultados del test de Tukey para los tratamientos del estudio con los datos de altura promedio

Tratamiento	Valor	Promedio (cm)
Penconazol + Fenpropidin	a	32.125
Mancozeb + Azoxistrobina	b	45.875
Flutriafol	bc	50.375
Testigo relativo	bc	51.125
Azoxistrobina	bc	54.75
Hexaconazol	bc	55.5
Rotación	bc	57.5
Myclobutanil	c	59.25
Azoxistrob. + Difenonazol	c	59.25
Isopyrazam	c	61.25

Nota. Elaboración propia.

Figura 12

Promedios de altura para cada tratamiento dentro del estudio



● Cambio de crecimiento promedio

Nota. Elaboración propia.

Al observar la tabla 14, se encuentra que el tratamiento que presenta menor altura es Penconazol + Fenpropidin, mientras que Isopyrazam es el que mayor altura media posee. Mancozeb + Azoxistrobina se presenta como un tratamiento mayor a Penconazol + Fenpropidin, e igualmente diferente a los dos mencionados. Azoxistrobina + Difenconazol y Myclobutanil no presentan diferencias respecto a los resultados obtenidos por Isopyrazam.

Los tratamientos Flutriafol, el testigo, Azoxistrobina, Hexaconazol y Rotación no presentan diferencias entre ellos, teniendo valores promedio entre Mancozeb + Azoxistrobina y Myclobutanil – Azoxistrobina + Difenconazol – Isopyrazam. Todos estos resultados concuerdan con el análisis gráfico realizado en el apartado anterior.

De esta forma, se comprueba que Penconazol + Fenpropidin es el producto fungicida que mayor efecto detrimental posee sobre las plantas de crisantemo, reduciendo fuertemente el crecimiento. Este producto es seguido por Mancozeb + Azoxistrobina, que reduce el crecimiento en un menor grado.

Los productos Flutriafol, Azoxistrobina, Hexaconazol, Myclobutanil, Azoxistrobina + Difenconazol e Isopyrazam no presentan un efecto detrimental sobre las plantas de crisantemo; sin embargo, los tres últimos parecen tener un efecto promotor en el crecimiento, pues, a pesar de que no se presentan diferencias estadísticamente significativas, los valores que se obtienen sobre el testigo son significativos.

Se considera que esto ocurre debido a efectos que pueden tener los productos mencionados sobre la bioquímica de las plantas, ayudando a mejorar el crecimiento y desarrollo potencial que se puede presentar. Igualmente, se puede deber a la variabilidad propia del material de crisantemo sembrado al inicio del estudio.

Diámetro basal del tallo

Para esta variable, la tabla 15 resume los valores encontrados para cada tratamiento.

Tabla 15

Resultados obtenidos con el diámetro basal del tallo final para los tratamientos en el estudio

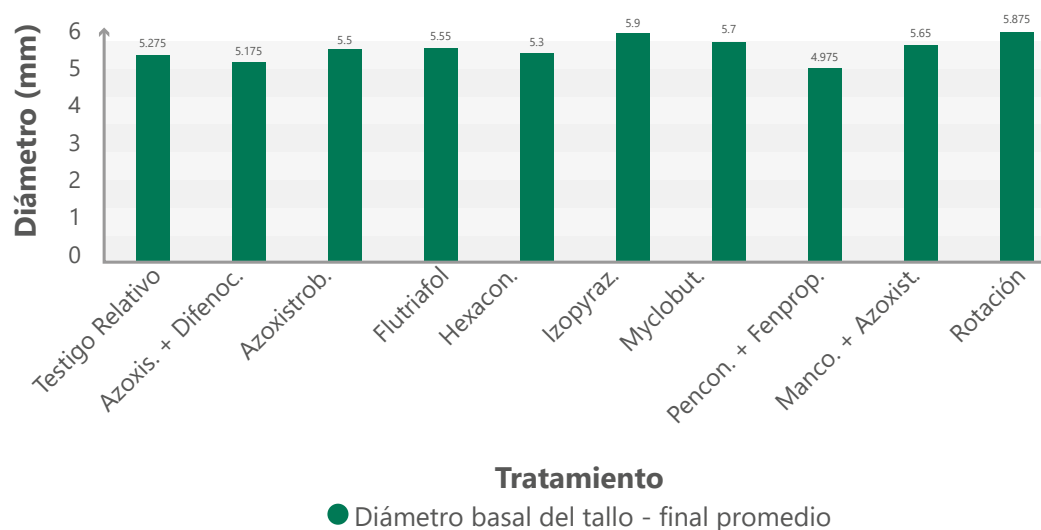
Tratam.	R1*	R2	R3	R4	Prom.
Testigo relativo	5	5.6	5.5	5	5.275
Azoxis. + Difen.	5	5	5.7	5	5.175
Azoxis.	5	6.3	5	5.7	5.5
Flutriaf.	5.3	6.4	5	5.5	5.55
Hexac.	4.8	6.2	4.4	5.8	5.3
Isopyr.	5.4	6	5.7	6.5	5.9
Myclob.	5.8	5.5	5.5	6	5.7
Pencon. + Fenp.	5.2	4.8	4.6	5.3	4.975
Manco. + Azox.	6.5	5.7	5	5.4	5.65
Rotación	5.6	5.5	5.9	6.5	5.875

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4.

Para facilidad en la visualización de estos resultados, se genera la figura 13, en la cual es posible evidenciar las diferencias que se presentan entre los tratamientos.

Figura 13

Promedios del diámetro basal del tallo para los tratamientos en el estudio



Nota. Elaboración propia.

Por su parte, Penconazol + Fenpropidin es el tratamiento que menor valor de diámetro final posee (4.975 mm), valor que se aleja relativamente de Isopyrazam (5.9 mm) y Rotación (5.875 mm), los cuales son los tratamientos con mayores valores.

En general, los demás tratamientos se mueven entre valores que oscilan entre estos dos extremos, sin ser muy diferentes entre ellos. Estos resultados obtenidos concuerdan con los de la altura, donde Penconazol + Fenpropidin igualmente fue el tratamiento con menor valor, y Isopyrazam como el mayor

valor. Esto permite determinar que existe una relación entre las dos variables, donde a mayor altura hay mayor diámetro basal.

Número de hojas

Para esta variable, la tabla 16 resume lo encontrado. A la vez, la figura 14 muestra los promedios calculados para cada uno de los tratamientos.

Tabla 16

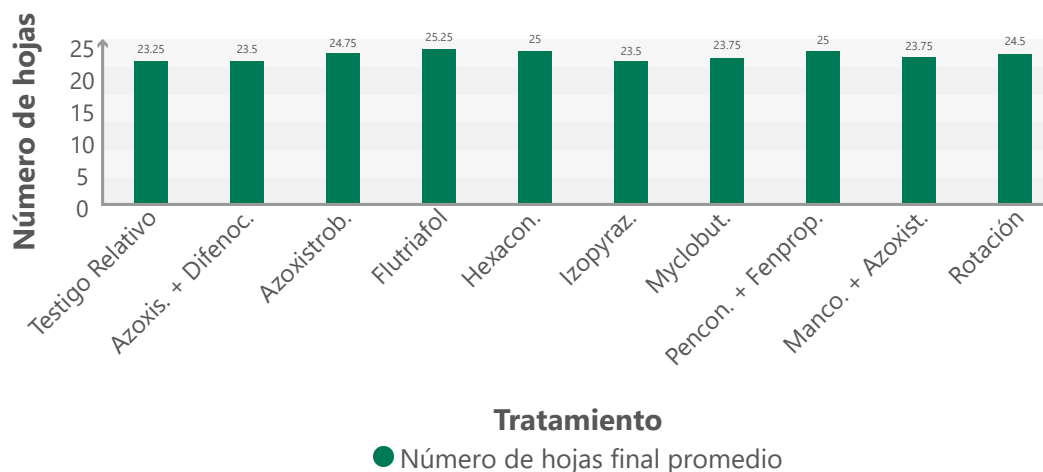
Resultados obtenidos en cuanto al número de hojas para el estudio

Tratamiento	R1*	R2	R3	R4	Prom.
Testigo Relativo	22	23	25	23	23.25
Azoxist. + Difenoc.	24	22	24	24	23.5
Azoxistr.	23	27	25	24	24.75
Flutriafol	25	25	24	27	25.25
Hexacon.	25	25	25	25	25
Isopyraz.	22	24	22	26	23.5
Myclobut.	23	22	25	25	23.75
Pencon. + Fenprop.	26	26	24	24	25
Manco. + Azoxis.	24	27	24	20	23.75
Rotación	24	24	26	24	24.5

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Figura 14

Promedios del número de hojas para los tratamientos en el estudio



Nota. Elaboración propia.

De forma general, los promedios que se muestran en la figura 14 permiten concluir que no existen diferencias significativas entre el número de hojas obtenido con cada tratamiento. Esto debido a que los valores, en todos los tratamientos, son muy cercanos entre sí, con hojas muy pequeñas ubicadas al lado de los pedúnculos.

Debido a su tamaño, las diferencias se vuelven poco significativas, resultando en que todos los tratamientos presenten número de hojas similar, sin diferencias significativas.

Peso de los tallos

Para resumir los datos encontrados en esta variable, se organizó la tabla 17, con la figura 15 mostrando la comparación gráfica de los promedios de cada tratamiento en el estudio.

Tabla 17

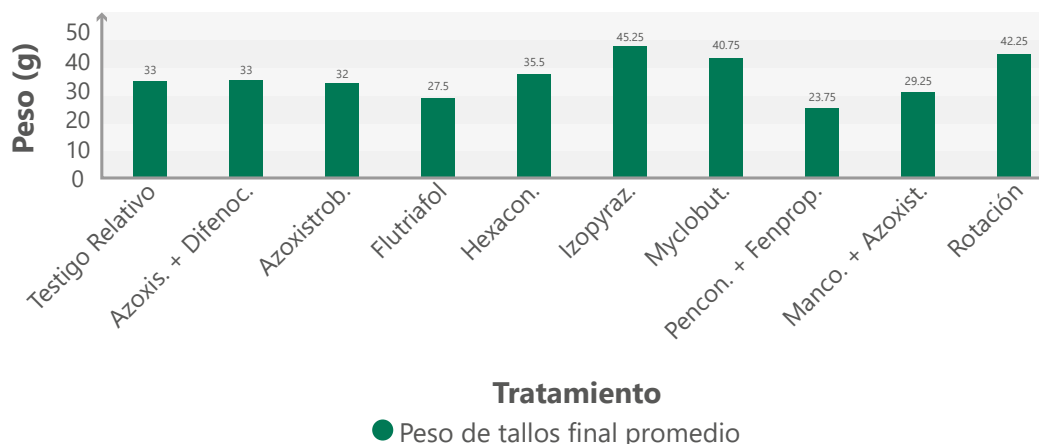
Resultados obtenidos en cuanto al peso final de los tallos (en gr) para el estudio.

Tratamiento	R1*	R2	R3	R4	Prom.
Testigo relativo	43	34	23	32	5.275
Azoxis. + Difenoc.	33	26	43	30	5.175
Azoxistrob.	34	30	34	30	5.5
Flutriafol	25	34	19	32	5.55
Hexacon.	28	46	34	34	5.3
Isopyraz.	43	42	43	53	5.9
Myclobut.	44	34	50	35	5.7
Pencon. + Fenprop.	31	24	26	14	4.975
Manco. + Azoxis.	31	29	30	27	5.65
Rotación	41	29	48	51	5.875

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Figura 15

Promedios obtenidos para el peso final de tallos (en gr) por cada tratamiento en el estudio



Nota. Elaboración propia.

Con estos datos, se decidió implementar el análisis de varianza. Inicialmente, el test de Shapiro-Wilk demostró que existía normalidad en los datos a evaluar, mientras que el test de Bartlett demostró que había homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se procedió a realizar el análisis de varianza, el cual arrojó que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Con el test de Tukey, se encontraron los resultados que se exponen en la tabla 18, donde se muestran los promedios calculados por cada tratamiento.

Tabla 18

Resultados del test de Tukey para el peso final de los tallos en el estudio

Tratamiento	Valor	Promedio (gr)
Penconazol + Fenpropidin	a	23.75
Flutriafol	ab	27.5
Mancozeb + Azoxistrobina	ac	29.25
Azoxistrobina	ac	32
Testigo relativo	ac	33
Azoxistrobina + Difenconazol	ac	33
Hexaconazol	ac	35.5
Myclobutanil	bc	40.75
Rotación	bc	42.25
Isopyrazam	c	45.25

Nota. Elaboración propia.

Nuevamente, el tratamiento Penconazol + Fenpropidin es el que menores resultados obtiene, mientras que Isopyrazam es el mayor

de todos, lo cual concuerda con el resto de los resultados previamente analizados. De forma general, los demás tratamientos están en un intermedio entre estos dos tratamientos, siendo poco diferentes estadísticamente.

Es muy importante resaltar que, en términos reales, la diferencia entre tratamientos como Penconazol + Fenpropidin – Flutriafol – Mancozeb + Azoxistrobina versus Isopyrazam – Rotación – Myclobutanil es significativa, pues puede verse como una mayor diferencia cuando se tengan plantas sembradas en campo con luz y demás condiciones adecuadas, en crecimiento ideal.

En comparación con el testigo relativo, cuyo valor de peso es intermedio, los valores de los anteriores tratamientos son significativamente diferentes y se observa el efecto detrimental o benéfico que poseen sobre las plantas.

Estos resultados son concordantes con los anteriores, principalmente con los de altura, donde se sigue un patrón similar al de esta variable. Esto se puede explicar debido a que, al presentarse una mayor altura, de una forma muy general, aumenta el peso propio del material vegetal.

Lastimosamente, esto no siempre se cumple y es algo que se puede observar con el tratamiento Azoxistrobina + Difenconazol, el cual obtiene un gran valor de altura, pero no se ve reflejado en un gran valor de peso. De hecho, el peso promedio de Azoxistrobina + Difenconazol es muy similar al de testigo y otros tratamientos, algo que puede deberse a tallos huecos y similar.

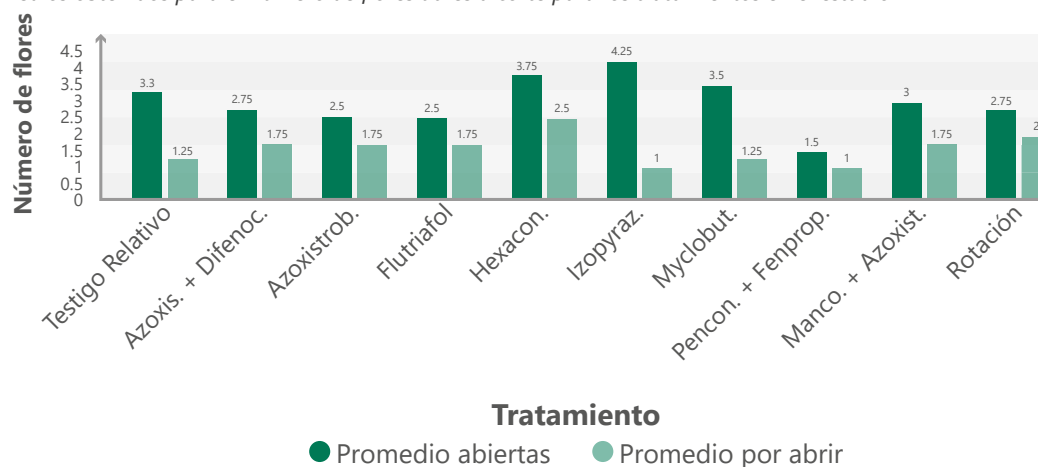
A la vez, esto puede verse como un reflejo del efecto detrimental que el producto puede tener sobre el material vegetal.

Número de flores útiles a corte

Para esta variable, la tabla 19 resume los valores encontrados por cada tratamiento. A su vez, la figura 16 muestra una comparación gráfica de los promedios mostrados en la anterior tabla.

Figura 16

Promedios obtenidos para el número de flores útiles a corte para los tratamientos en el estudio



Nota. Elaboración propia.

Una vez más, el tratamiento Isopyrazam es el que mejores resultados posee, con el mayor número de flores abiertas de todos los tratamientos. Penconazol + Fenpropidin, por su parte, es el que menor número de flores abiertas y por abrir posee, lo cual muestra del gran efecto detrimental del fungicida sobre el material vegetal.

Tabla 19

Resultados obtenidos para el número de flores útiles a corte en el estudio

Tratamiento	R1*	R2	R3	R4	Promedio abiertas	Promedio por abrir
Testigo Relativo	3+2	3+0	3+2	4+1	3.3	1.25
Azoxistrobina + Difenconazol	3+2	2+2	3+2	3+1	2.75	1.75
Azoxistrobina	3+1	2+1	2+3	3+2	2.5	1.75
Flutriafol	2+2	3+2	2+1	3+2	2.5	1.75
Hexaconazol	3+2	5+3	4+1	3+4	3.75	2.5

Tratamiento	R1*	R2	R3	R4	Promedio abiertas	Promedio por abrir
Isopyrazam	4+1	4+0	4+1	5+2	4.25	1
Myclobutanil	4+0	3+1	4+1	3+3	3.5	1.25
Penconazol + Fenpropidin	3+0	1+2	2+0	0+2	1.5	1
Mancozeb + Azoxistrobina	3+2	3+1	3+1	3+3	3	1.75
Rotación	3+1	3+1	2+4	3+2	2.75	2

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

De todos los tratamientos, Isopyrazam, Hexaconazol y Myclobutanil son los que mayor número de flores totales poseen. En comparación con los demás tratamientos, el número es muy similar, a excepción del mencionado tratamiento Penconazol + Fenpropidin.

Cabe resaltar que el testigo relativo obtiene un valor que es superior a todos los tratamientos (menos los tres mayores), lo que sugiere que existe un efecto de los fungicidas sobre la capacidad del tallo de generar botones florales que abran de forma rápida; de esta manera, se nota con los resultados que con algunos tratamientos hay un mayor número de flores por abrir que de flores ya abiertas.

En ese sentido, es posible decir que los fungicidas retardan en cierto grado la apertura floral, e incluso pueden reducir el número de botones florales que se formen cuando se utilizan de forma continua. Es seguro que este efecto se verá con mayor facilidad al usar material con iluminación.

Es importante mencionar que varios días después de la observación del material, todas las flores habían abierto de forma adecuada.

Calidad de la flor

Para esta variable, la tabla 20 resume los datos encontrados en la observación, mientras que la figura 17 muestra el resumen gráfico de los promedios.

Tabla 20

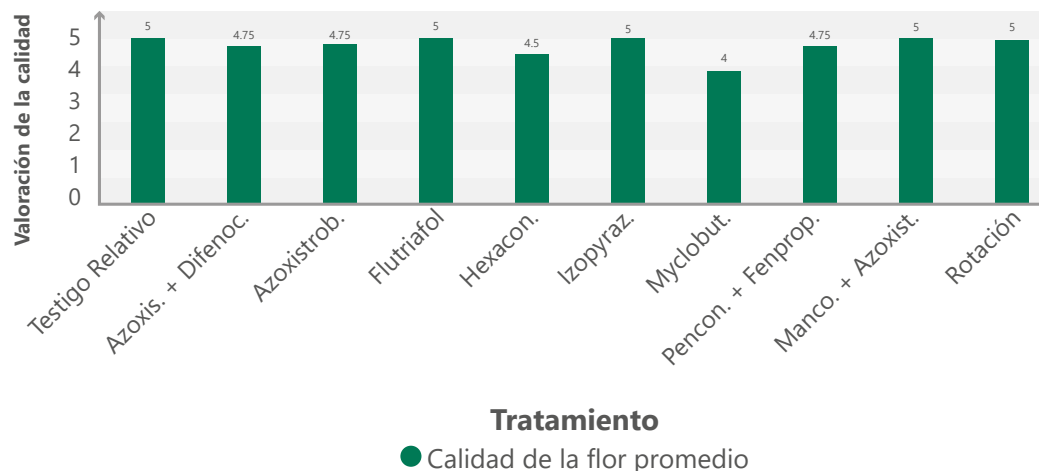
Resultados obtenidos en cuanto a la calidad de la flor para el estudio

Tratamiento	R1*	R2	R3	R4	Prom.
Testigo Relativo	5	5	5	5	5
Azoxist. + Difenocon.	5	5	5	4	4.75
Azoxistrob.	5	5	4	5	4.75
Flutriafol	5	5	5	5	5
Hexacon.	5	5	5	3	4.5
Isopyrazam	5	5	5	5	5
Myclobut.	5	5	3	3	4
Pencon. + Fenprop.	5	4	5	5	4.75
Mancoz. + Azoxist.	5	5	5	5	5
Rotación	5	5	5	5	5

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia.

Figura 17

Promedios obtenidos para la calidad de flor con los tratamientos usados en el estudio



Nota. Elaboración propia.

En general, no se encuentran diferencias importantes con respecto a la calidad de las flores obtenidas con los tratamientos implementados. Los valores promedios obtenidos son cercanos entre ellos, indicando que el efecto que los fungicidas puedan tener es indiferente.

En el caso de Myclobutanil, el valor que se obtiene (4) es debido al daño ocasionado por insectos en las últimas semanas del estudio, los cuales afectaron los tallos de este tratamiento. Con los demás no ocurrió así debido a una rápida eliminación de estos, algo que no ocurrió con este tratamiento puntual, donde los insectos lograron ocultarse a la vista de la observación.

Calidad del tallo floral

Para esta variable, la tabla 21 resume lo encontrado. Además, y con la figura 18 se puede observar el resumen gráfico de los promedios.

Tabla 21

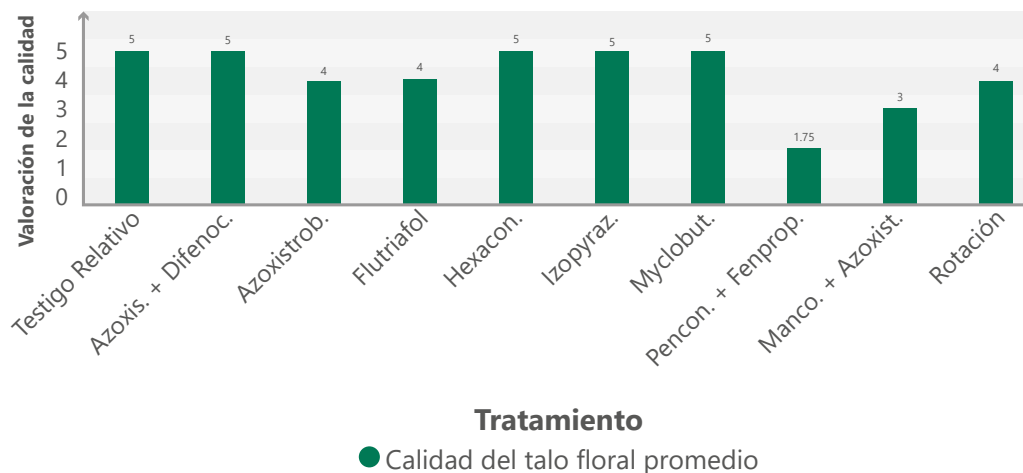
Resultados obtenidos de la calidad del tallo floral para los tratamientos del estudio (en escala de evaluación 0-5)

Tratamiento	R1*	R2	R3	R4	Prom.
Testigo Relativo	5	5	5	5	5
Azoxist. + Difenoc.	5	5	5	5	5
Azoxistrob.	4	4	4	4	4
Flutriafol	4	4	4	4	4
Hexacon.	5	5	5	5	5
Isopyrazam	5	5	5	5	5
Myclobut.	5	5	5	5	5
Pencon. + Fenprop.	2	2	2	1	1.75
Mancoz. + Azoxist.	3	3	3	3	3
Rotación	4	4	4	4	4

Nota. *R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4. Elaboración propia

Figura 18

Promedios obtenidos para la calidad del tallo floral con los tratamientos usados en el estudio



Nota. Elaboración propia.

Para esta sección, el tratamiento Penconazol + Fenpropidin obtuvo una calidad general de tallo muy baja, resultado concordante con los anteriores obtenidos. Por su parte, tratamientos como Isopyrazam, Myclobutanil, Hexaconazol, Azoxistrobina + Difenconazol y el testigo relativo obtuvieron la más alta valoración de calidad, lo que igualmente está acorde a los resultados previos.

Tratamientos como Azoxistrobina, Mancozeb + Azoxistrobina y Flutriafol obtuvieron valores más bajos por el manchado causado por el producto químico como tal. Con Flutriafol ocurre debido al efecto crujiente que el producto causa sobre el follaje.

Tabla 22

Resultados obtenidos respecto a la medición promedio de entrenudos (en cm) para los tratamientos del estudio

Tratamiento	R1*	R2	R3	R4	Prom.
Testigo Relativo	2.64	2.1	2.27	2.03	2.26
Azoxist. + Dife-nocon.	2.43	2.49	2.4	2.43	2.44
Azoxistrob.	2.47	2.06	2.41	2.43	2.34
Flutriafol	1.7	2.25	1.74	2.22	1.98
Hexacon.	2.15	2.34	2.29	1.87	2.16
Isopyrazam	2.73	2.31	2.71	2.52	2.57
Myclobut.	2.75	2.56	2.27	2.23	2.45
Pencon. + Fen-prop.	1.48	1.3	1.67	1.13	1.4
Mancoz. + Azoxist.	1.91	1.78	2.26	1.88	1.96
Rotación	2.24	2.14	2.15	2.05	2.26

Nota. Elaboración propia.

Al observar estos promedios se determina que, en concordancia con los resultados anteriores, el tratamiento Penconazol + Fenpropidin es el que menor valor promedio de entrenudos obtuvo, seguido de Mancozeb + Azoxistrobina y Flutriafol, lo que se da de manera similar a otras variables. Por otro lado, Isopyrazam, Myclobutanil y Azoxistrobina + Difenconazol son los tratamientos con mayores valores, lo que va acorde a las mediciones de altura previamente analizadas.

Con estos resultados, se comprueba que, como se esperaba, los tratamientos pueden acortan los entrenudos, lo que se puede apreciar de manera más fuerte con el tratamiento Penconazol + Fenpropidin. Por otro lado, en el tratamiento con Isopyrazam y demás se presenta un aumento en algunos entrenudos, como se puede ver en los datos al tener valores que superan los 4 cm.

Resumen general de los resultados

Al observar el conjunto de resultados analizados, se evidencia que los triazoles y las estrobirulinas poseen efectos diferenciales en las plantas de crisantemo. Con productos como Penconazol + Fenpropidin, los efectos son muy negativos en términos de la altura obtenida, número de hojas, peso de los tallos y calidad, entre otras cosas. Esto lleva a que sea imposible implementar este producto de forma continua.

Productos como Mancozeb + Azoxistrobina o Flutriafol tienen un mejor comportamiento que Penconazol + Fenpropidin, obteniendo valores cercanos al del tratamiento testigo, en general, para las variables estudiadas. De los tratamientos superiores al testigo, los más significativamente diferentes son, de una forma general, Myclobutanil e Isopyrazam, demostrando que no necesariamente el efecto de estos grupos de fungicidas va a tener un efecto detrimental sobre las plantas de crisantemo.

A su vez, es importante resaltar los resultados obtenidos con el tratamiento de rotación. Con este, no se presentaron problemas sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas de crisantemo, obteniendo individuos sin diferencias al testigo, e incluso en un excelente estado. Cabe resaltar que, con este tratamiento, no se presentaron problemas de fitotoxicidad, lo que resulta ser positivo para ser implementado un programa de rotación de triazoles y estrobirulinas para el control de la roya blanca del crisantemo.

En su estudio, Corona *et al.* (1997) encontraron que, al aplicar diversos fungicidas del grupo de los azoles, la longitud del tallo se ve reducida, siendo el testigo el que mayor valor obtuvo, con valores decrecientes en tratamientos con productos con ingredientes activos como Tebuconazol, Propiconazol y Bromoconazol.

Lam & Lim (1993) evaluaron el comportamiento del ingrediente activo Hexaconazol para el control de roya blanca del crisantemo, teniendo

en su estudio un excelente resultado, con efectos superiores al Triadimefon; a la vez, determinaron la efectividad de la mezcla de Hexaconazol con Captan y Mancozeb contra el fitopatógeno. Los autores reportaron no haber encontrado síntomas de fitotoxicidad con el ingrediente activo y las mezclas realizadas. Estos resultados son concordantes con los obtenidos en este estudio, en los que el Hexaconazol no presenta fitotoxicidad, ni efectos detrimentales en las variables evaluadas.

Dickens (1990) evalúa al Propiconazol como opción para el control de roya blanca del crisantemo, teniendo efectos significativos según los tratamientos y mezclas realizadas; en el estudio, se reporta que este ingrediente activo presenta retardo en el crecimiento, pero sin ser efectos fitotóxicos de importancia.

En otro estudio, Wojdyla (2004) evalúa la efectividad de doce compuestos químicos diferentes, teniendo efectos significativos en la erradicación y reducción de infecciones con roya blanca del crisantemo. El tratamiento con Tebuconazol + Triadimefon mostró reducción en el crecimiento, sin síntomas importantes de fitotoxicidad; en contraste, el tratamiento Tridemorph + Epoxiconazol mostró fuertes síntomas de fitotoxicidad en los cultivares evaluados de crisantemo.

Por su parte, Wojdyla (2007) realizó un estudio para ver el efecto de cinco fungicidas tipo estrobirulinas sobre la roya blanca del crisantemo. Además de encontrar efectos positivos en el control y la erradicación del

fitopatógeno, el autor determinó que ninguno de los fungicidas presentó fitotoxicidad sobre las plantas evaluadas, e incluso observó estímulo al crecimiento con el tratamiento Boscalid + Pyraclostrobin.

Como complemento, Zamorski (1982) realizó un estudio en el que evaluó diferentes fungicidas tipo azoles, encontrando importantes efectos de fitotoxicidad con el ingrediente activo Oxycarboxin, mientras que con Diclobutrazol observó supresión y reducción del crecimiento vegetal.

Más recientemente, Wojdyla (2016) evaluó un aceite mineral para el control de múltiples agentes fitopatógenos en cultivos ornamentales, encontrando significativos efectos para controlar y erradicar la roya blanca en los crisantemos. A su vez, no detecta síntomas de fototoxicidad en ninguno de los cultivos evaluados, lo que da muestras de productos diversos que pueden ser usados para la protección de cultivos, sin llegar a causar efectos detrimentales en las plantas.

Los diferentes estudios mencionados igualmente dan muestra de las múltiples evaluaciones que se han hecho a lo largo de los años, demostrando la existencia de múltiples ingredientes activos, de los cuales varios han presentado efectos fitotoxicidad de diversa índole. Este estudio permite entonces dar una muestra de las posibilidades que existen para el control de roya blanca del crisantemo, con sus variados efectos, tanto positivos como detrimentales, en las plantas evaluadas.

Bibliografía

- Arregui, M. C., Puricelli, E. (2013). *Fungicidas, Mecanismos de Acción de Fungicidas. 1ra Edición. UNR (Ed)*. Editorial de la Universidad Nacional del Rosario.
- Barret, J., Bartusca, C. (1982). PP333 effects on stem elongation dependent on site of application. *HortScience*. 17 (5), 737-738.
- Corona, R. M. C, García, F. A, Norman, M. T. H, Aquino, M. J. G, Sandoval, R. F. R, Vásquez, G. L. M. (1997). Control de la roya blanca (*Puccinia horiana* Henn.) en crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) variedad spider. *Ciencia Ergo Sum* 4(2), 211-216.
- Cot, D. C., Miralles, B L. (2014). *Servicios básicos de floristería y atención al público*. IC Editorial.
- Dickens, J. (1990), Studies on the chemical control of chrysanthemum white rust caused by *Puccinia horiana*. *Plant Pathology*, 39, 434-442. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1990.tb02519.x>
- Dirección general de sanidad vegetal. (1993). Plan de acción para la prevención de roya blanca del crisantemo (*Puccinia horiana*). SARH.
- Geuns, J. M. (1975). Regulation of Sterol Biosynthesis in Etiolated Mung Bean Hypocotyl Sections. *Phytochemistry* 14, 975-978.
- Geuns, J. M., Vendrig, J. C. (1974). Hormonal control of sterol biosynthesis in *Phaseolus aureus*. *Phytochemistry* 13, 919-922.
- Grunwald, G. (1980). Steroids. *Secondary Plant Products*. (eds.) Bell, E., Charlwood, B. *Encyclopedia of plant physiology. New Series*, 8, 221-256.
- ICONTEC (1976). Norma Técnica Colombiana NTC 736 – Plaguicidas. Ensayos para determinar la fitotoxicidad simulando aplicaciones convencionales. Bogotá.
- Lam, C. H., Lim, T. K. (1993). Efficacy of hexaconazole for the control of white rust on chrysanthemum and powdery mildew on roses. *International Journal of Pest Management*, 39,2, 156-160, DOI: 10.1080/09670879309371782

- Llácer G., López, M. M., Trapero, A., Bello, A. (1996). *Patología Vegetal*. Sociedad Española de Fitopatología.
- Moreno, F. A, Peñaranda, R. M. I. (2019). *Fitotoxicidad: más que un culpable, una mirada a los múltiples factores en interacción*. Metroflor-Agro.
- Peterson, J. L, Davis, S. H, Weber, P. V. (1978). The occurrence of *Puccinia horiana* on Chrysanthemum in New Jersey. *Plant Disease Reporter* 62, 357-360.
- Siqueira, L. (2007). *Fungicidas Sistêmicos Teoría E Prática* (I ed.). EMOPI.
- Srivastava, A. K., Defago, G, Herm, H. (1986). Hyperparasitism of *Puccinia horiana*. Another Microcyclic Rust. *Plant Pathology*, 65, 60-67.
- Wojdyła, A. T. (2004). Development of *Puccinia horiana* on chrysanthemum leaves in relation to chemical compounds and time of their application. *Journal of Plant Protection Research*, 44(2), 91-102.
- Wojdyła AT. (2007). Influence of strobilurin compounds on the development of *Puccinia horiana*. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 72(4), 961-966.
- Wojdyła, A. T. (2016). Potential use of Atpolan 80 EC for protecting some species of ornamental plants against diseases. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 22(4), 611-618.
- Zamorski, C. Z. (1982). Skuteczność fungicydów w zwalczaniu białej rdzy złocienia (*Puccinia horiana* P. Henn) [The effectiveness of fungicides in the control of white rust (*Puccinia horiana* P. Henn) of Chrysanthemums]. *Acta Agrobotanica* 35(2), 251-256.
-

Anexos

Anexo 1

Información general de los productos comerciales en el estudio de fitotoxicidad

Ingrediente Activo	Grupo	Dosis	Mecanismo de Acción
Azoxistrobina Difenoconazol	Estrobirulina Triazol	0.8 cc/L agua	Bloquea los procesos respiratorios y la síntesis de ergosterol.
Azoxistrobina	Estrobirulina	0.4 g/L agua	Inhibidor de la respiración mitocondrial.
Flutriafol	Triazol	0.6-0.6 cc/L Agua	Inhibe la biosíntesis del ergosterol, mediante la inhibición de la demetilación del esteroide.
Hexaconazol	Triazol	1 cc/L Agua	Inhibe la biosíntesis del ergosterol por demetilación de esteroides.
Isopyrazam	Pirazol	1.5 cc/L Agua	Inhibe el complejo II de la respiración actuando sobre la enzima succinato deshidrogenasa.
Myclobutanil	Triazol	0.2 – 0.4 ml/L Agua	Inhibe la biosíntesis del ergosterol al inhibir la demetilación C14 en la ruta biosintética del ergosterol.
Penconazol Fenpropidin	Triazol Morfolina	0.75 ml/L Agua	Inhibe la metilación del ergosterol. Inhibe la biosíntesis del esteroide en el paso siguiente a la demetilación C-14; inhibe la reducción del $\Delta 14$ y/o la isomerización $\Delta 8,7$ de la vía biosintética del esteroide.
Mancozeb Azoxistrobina	Triazol Estrobirulina	0.5 L/Ha	Multisitio. Inhibe procesos respiratorios y la síntesis del ergosterol.

Nota. Elaboración propia.

Anexo 2

Síntomas de fitotoxicidad presentados durante el estudio



Nota. Quemazón presentada en las plantas con el tratamiento Penconazol + Fenpropidin. Efecto momentáneo del Flutriafol sobre las plantas de crisantemo.

Anexo 3

Comparación gráfica de los tratamientos implementados en el estudio (en cada imagen, el testigo siempre corresponde a las plantas a la izquierda)



Nota. Testigo vs Azoxistrobina + Difenconazol



Nota. Testigo vs Hexaconazol



Nota. Testigo vs Azoxistrobina



Nota. Testigo vs Isopyrazam



Nota. Testigo vs Flutriafol



Nota. Testigo vs Myclobutanil



Nota. Testigo vs Penconazol + Fenpropidin



Nota. Testigo vs Mancozeb + Azoxistrobina

Ganancia de peso en bovinos cebuinos con inclusión en la dieta de bloques nutricionales con base de *Gliricidia sepium**

*Weight Gain in Zebu Cattle with the Inclusion of Nutritional Blocks Based on *Gliricidia sepium* in the Diet*

**Julián A. Montes¹, Juliana Saldarriaga², Carlos Leonardo
Guerra Marín³**

1 Estudiante de zootecnia, Semillero de Investigación de Bienestar y sanidad animal. Grupo de investigación en agronomía y zootecnia GIAZ, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Oriente, Rionegro – Antioquia. E-Mail: valenciajul@gmail.com Su ORCID [htyps://0009-0008-4930-6760](https://0009-0008-4930-6760)

2 Estudiante de zootecnia, Semillero de Investigación de Bienestar y sanidad animal. Grupo de investigación en agronomía y zootecnia GIAZ, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Oriente, Rionegro – Antioquia. E-Mail: juliana.saldarriaga@hotmail.com <https://orcid.org/009-0001-6602-7914>

3 Docente investigador. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Católica de Oriente. Correo: cguerra@uco.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9657-6359>

*Este trabajo fue realizado bajo la corrección estadística del profesor Jaime Andrés Gutiérrez Monsalve, Facultad de Ingenierías, Universidad Católica de Oriente.

Resumen

En un hato ganadero se debe estar al tanto de los procesos nutricionales de los semovientes. Para ello, se debe sacar provecho de los elementos que se tengan a disposición al interior de la unidad productiva, para así determinar la optimización de los niveles de productividad. En tal sentido, con el aprovechamiento de estos recursos se muestra cómo la elaboración de un suplemento nutricional con base en *Gliricidia sepium*, administrado a terneros destetos cebuinos como complemento a la dieta de rutina, tiene incidencia proporcional en la ganancia de peso. La composición porcentual del suplemento fue de un 25 % *Gliricidia sepium*, con un proceso de secado de tres días y, posteriormente, triturado a mano; 20 % salvado de maíz, 5 % urea, 10 % cal, 30 %

melaza, 5 % sal y 5 % azufre. El suplemento (forma de bloque) se administró así: uno de control (L1) con 25 terneros destetos y otro experimental (L2), con 28 terneros destetos; el primer lote (L1) solo recibió la dieta que normalmente se proporciona en la finca a base de pasto y sal mineralizada, mientras que segundo lote (L2) recibió dieta de pasto con la adición de bloque nutricional. Los resultados indican que el consumo del bloque nutricional mejoró la ganancia de peso en el término de ocho meses, al determinarse diferencias significativas en relación con la ganancia de peso en los lotes ($p < .05$), donde los animales llegan a un peso de 250 kg para el inicio de la ceba en un menor tiempo, generando una mayor rentabilidad al interior de la explotación.

Palabras clave

Nutrición animal, Recursos vegetales, Ganado vacuno,
Seguridad alimentaria.

Abstract

Having some beef cattle, the cattle breeder must take nutrition into account thus, he may take advantage of the elements available onto the productive unit to optimize the productivity levels. Then, approaching the resources, a nutritional complement based on *Gliricidia sepium* is elaborated, which were offered to Zebu weaning calves, as a complement for their regular diet to assess the weight gain process. The block percentage composition was 25 % of *Gliricidia sepium*, with three days drying process, which was taken throughout milling procedure subsequently, corn bran 20 %, urea 5 %, lime 10 %, molasses 30 %, salt 5 % and sulfur 5 %. Two treatments were carried out: a control (L1) and a testing (L2), of 25 and 28 weaning calves, respectively. The first set (L1)

was fed with the farm regular diet, which was based on grass and mineralized salt, while the second set (L2) received a diet based on grass, mineralized salt and the nutritional block in addition. The results showed that the nutritional block consumption improved the weight gain in the sets ($p < .05$), where animals reached the 250 kg in shorter periods of time for the beginning of the fattening, increasing the profitability of the overexploitation.

Keywords

Animal nutrition, Plant resources, Cattle, Food security.

Introducción

El fortalecimiento de la nutrición bovina es uno de los elementos esenciales en la productividad animal, lo que se traduce en el mejoramiento de la producción en la ganancia de peso. Esto conlleva, al interior de la unidad pecuaria, la búsqueda de estrategias que mejoren los sistemas de producción, el uso de técnicas alternativas en función de los requerimientos nutricionales, la suplementación según la etapa productiva y el mejoramiento del rendimiento económico para el productor; para este fin, se optimiza el uso de recursos vegetales disponibles, los cuales complementan las dietas comprendidas por pastos y sales, máxime en las épocas donde la calidad y la cantidad del forraje resulta insuficiente para suplir los requerimientos nutricionales de los bovinos.

En las explotaciones ganaderas, los altos costos de producción se representan básicamente en la consecución de concentrados que ayuden al aumento secuencial de peso en los bovinos, de acuerdo con el estadio de desarrollo y ciclos de producción. Las investigaciones de Cardozo (2013) refieren, de acuerdo con Thomas & Miner (1986) y Topps (1992), que “en la alimentación bovina el uso exclusivo de proteínas a base de gramíneas no permite mejorar el potencial productivo que puedan tener los lotes, dadas las características propias de los pastos tropicales que presentan bajos niveles de proteínas digeribles y altas tasas de fibra” (p. 32).

Por tanto, los complementos nutricionales a base de *Gliricidia sepium* tienen efectos positivos en la producción bovina, en especial en la ganancia significativa de peso. Para establecer datos comparativos y verificar efectos de dicho complemento nutricional, se establecieron dos lotes de cebuinos destetos machos: el primero (L1: lote de control), con monitoreo de peso sin consumo del complemento nutricional y con la dieta estándar de la unidad productiva; y el segundo (L2: lote experimental), con monitoreo de peso, administración de complemento nutricional y dieta estándar de la unidad productiva. El monitoreo de dichos lotes, además de los datos comparativos, determina relaciones costo-beneficio, tomando como base la administración de un complemento nutricional con un 25 % de *Gliricidia sepium* como elemento principal y aplicado en el L2. Dicha base proteica como lo afirma Clavero (1996), citado por Marcial González *et al.* (2001), tiene un “alto potencial en la producción de biomasa para el consumo y un elevado valor nutritivo, que se presenta como una alternativa práctica y económica para incrementar la productividad animal y contribuir de esta manera, a disminuir los costos de producción” (p. 13).

Materiales y métodos

El proceso investigativo se desarrolló en la finca La Escondida del municipio de Fredonia, departamento de Antioquia. La unidad ganadera se encuentra a 1800 m.s.n.m.; su temperatura promedio es de 22 °C, y su índice precipitación es de 2.355 ml anuales, con unahumedad relativa de 70 %. La elaboración del suplemento se basó en la fórmula planteada por Araque & Cortés (2006), teniendo como componentes el matarratón, melaza, maíz, cal, urea, sal al 6 % y azufre (véase Tabla 1). La producción del suplemento se realizó en presentaciones de 5 kg para facilitar su ubicación al interior de los comederos (saladeros) de los bovinos, dispuestos en los lotes de pastoreo.

Para el establecimiento de lotes, fueron seleccionados 53 cebuinos machos destetos con 120 días de nacidos y con un peso promedio de 96 kg cada uno. Posteriormente, se conformaron dos lotes y se repartieron los ejemplares al azar de la siguiente manera: Lote1 con 25 ejemplares y Lote 2 con 28 ejemplares. Los semovientes asignados al L1 recibieron durante 8 meses la dieta que se proporciona comúnmente en la unidad productiva a base de gramíneas (pastos) y sal mineraliza de uso comercial, mientras que los semovientes del L2 recibieron la dieta de la unidad productiva y se suministró a cada bovino aproximadamente 0,938 kg/animal/día del complemento nutricional (bloque) con las características que se presentan en el

Tabla 1. La toma de datos de peso se realizó mediante monitoreo constante de todos los ejemplares cada 30 días durante ocho meses. En total se realizaron 9 pesajes en báscula ganadera (incluido el peso inicial).

Tabla 1
Composición porcentual del bloque nutricional

Ingredientes	Porcentaje (%)
Melaza	30
Maíz	20
Cal	10
Matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	25
Urea	5
Sal 6 %	5
Azufre	5

Nota. La tabla muestra la composición porcentual de un bloque nutricional diseñado con ingredientes como melaza, maíz, cal, matarratón (*Gliricidia sepium*), urea, sal al 6 %, y azufre. Elaboración propia

El análisis de los datos obtenidos se registró y valoró paulatinamente bajo las funciones de crecimiento presentadas en la Tabla 2, donde Y es el peso del animal a un tiempo t ; $A > 0$ es el peso adulto; el parámetro $k > 0$ describe el índice de madurez o la tasa específica de crecimiento, y, finalmente, el parámetro $b > 0$ controla la diferencia entre el peso inicial y el peso final a un tiempo t .

El ajuste de los datos a cada modelo y las estimativas de los parámetros se realizaron a través del proceso iterativo en el paquete de

ajuste y trazo de modelos no lineales 'easynls' (Arnhold, 2020). Por otra parte, para la comparación del área bajo la curva se aplicó el test no paramétrico de *Kruskall-Wallis* teniendo en cuenta cada una de las réplicas.

Tabla 2

Descripción matemática de los modelos no lineales evaluados para curvas de crecimiento

Modelo	Ecuación
Logístico	$Y=A(1+be^{-kt})^{-1}$
Gompertz	$Y=Ae(-b e^{-kt})$

Nota. Elaboración propia.

Resultados y discusión

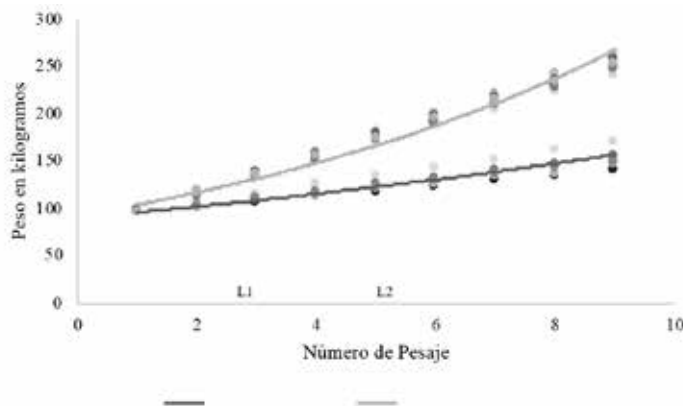
Al analizar los resultados, se comprobó que en el L1 se presentó un promedio de ganancia de peso por bovino de 126,56 kg, con una ganancia de peso (GDP) aproximada de 321

gr/día/animal durante el proceso. Para el L2 la ganancia de peso promedio por bovino fue de 183,87 kg, con una GDP de 651 gr/día/animal.

La GDP en L2 es proporcional a los resultados presentados por Araque (1995) con cebuinos machos adultos, donde el uso de complementos nutricionales reporta un GDP de 648 gr/día/animal, alcanzando un peso final promedio de 451 kg. Asimismo, la GDP en L2 es coincidente con los resultados de los estudios de Gutiérrez y Ayala (2009), que evidencian una GDP que varía entre 250 gr/día/animal y 400 gr/día/animal, superando la expectativa de ganancia en un 162,8 %. Para el caso del L2, se alcanzó una GDP 651 gr/día/animal que se vio reflejada en ejemplares, al final de la etapa, de levante con un peso promedio de 252,29 kg. Por tanto, la GDP en L2 es mayor en un 232,5 % en comparativa con los resultados de las investigaciones de Fariñas *et al.* (2009), donde se muestra una ganancia de 280 gr/día/animal con uso de un complemento nutricional.

Figura 1

Pesos promedio de cebuinos destetos machos seleccionados en L1 y L2 en los monitoreos de pesaje



Nota. Elaboración propia.

Al cierre del proceso investigativo, los cebuinos finalizaron la etapa de levante, notándose que los ejemplares del L2 obtuvieron un peso que oscilaba entre 240 y 263 kg, en contraposición de los ejemplares del L1, que llegaron al mismo término con pesos que oscilaban entre los 139 y los 169 kg, como se observa en la figura 1. En tal sentido, el L2 cumple con el objetivo de la ganadería de carne, ya que la ganancia de peso es fundamental en términos económicos y de producción en cada una de las etapas, según lo expone el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario - FINAGRO (2009). En la producción de ganadería de carne, al llegar a la etapa de ceba, los cebuinos deben contar con pesos entre los 220 a 250 kg, puesto que lo ideal es llevar a los bovinos a un mayor peso en un menor tiempo, favoreciendo la entrada de nuevos animales y la ganancia económica para la unidad productiva en periodos de tiempo más cortos. Esto se evidencia en el L2 debido a la aplicación de complementos nutricionales de fácil elaboración al interior de la unidad productiva que mejoran la relación costo-beneficio.

Comparados los resultados del L2 con las investigaciones de Araque y Cortés (1997), ambos casos contextualizados en zonas tropicales, donde existe una gran variedad de especies que pueden ser utilizadas como biomasa para los bovinos, se demuestra que es posible mejorar no solo los índices de productividad, sino también la rentabilidad de los sistemas de nutrición y ganancia de peso, tanto en épocas de lluvia como en épocas de sequía. Araque (1997) indica que el uso de complementos nutricionales con

un contenido de urea al 5 % permite una GDP hasta de 484 gr/día/animal en época de sequía. Este porcentaje, que se aplicó a la elaboración de los complementos nutricionales administrados al L2 en época seca, alcanzó una ganancia de peso promedio de 651 gr/día/animal, es decir, se logró una efectividad del 134,5 % en relación con los resultados presentados por Araque (1997).

De igual manera, confrontados los resultados del L2 con la investigación de Araque y Cortés (1997), para la GDP en época de lluvia, donde se administran complementos nutricionales a cebuinos con un componente de urea al 5 %, alcanzando 694 gr/día/animal, el L2 alcanza una efectividad del 93,8 % con un GDP de 651 gr/día/animal. Lo anterior indica que la suplementación nutricional a bovinos presenta un alto mejoramiento de los ciclos de producción y una mayor rentabilidad para la unidad productiva.

En el desarrollo de la investigación y el análisis estadístico de los datos obtenidos, el peso asintótico (A) y el índice de madurez (K) se consideraron como los dos parámetros principales. Como lo indican Paz, Packer & Freitas (2000), los bovinos con una ganancia significativa de peso en el levante generalmente tienen un crecimiento en ceba más rápido. Las estimaciones de peso asintótico, utilizando los modelos Logístico y Gompertz, tanto para L1 como para L2, como se muestra en las Tablas 3 y 4, utilizan como referente los estudios de Santoro, Barbosa & Brasil (2005), quienes aplican ambos modelos a la ganancia de peso en cebuinos.

Tabla 3

Estimativas para el peso asintótico

Modelo	Parámetro		
	A	b	K
Logístico	251.406	2.550365	0.111768
Gompertz	345.7612	1.602754	0.054903

Nota. (A) en kg, constante de integración (b) y tasa de madurez (k) en días⁻¹ para diferentes funciones de crecimiento para los modelos Logístico y Gompertz para Lote de Control (L1).

El conjunto de datos utilizado contiene los pesajes desde el cuarto mes (120 días aprox.) hasta 12 meses edad; por lo tanto, el peso adulto no pudo estimarse porque estos animales no alcanzaron la madurez. Por lo tanto, la estimación (A) refleja la media del peso en los últimos pesajes. De acuerdo con Ludwig (2011), se debe evaluar el peso de los animales desde el nacimiento hasta la edad adulta para obtener estimaciones más precisas de los parámetros del modelo no lineal. En el período estudiado, es decir, durante los 120 días hasta los 360 días de edad, el modelo Logístico dio como resultado una estimación de peso asintótico (A) que mostró un mejor ajuste al promedio del ganado cebú utilizado en el experimento a los de 360 días en comparación con los informes de la literatura (Santoro, Barbosa, & Brasil, 2005).

Las estimaciones de la tasa de madurez (K) y la constante de integración (b) para los diferentes lotes presentados en las Tablas 3 y 4 no variaron mucho en comparación con

otros estudios con ganado cebuinos. Silva & Col (2001) estimaron valores de K y b de 0,120 y 2,05 para el modelo Gompertz, y 0,243 y 4,193 para el modelo Logístico. Por otra parte, Silva & Col. (2004) informaron valores de 0,22 y 3,91 y 0,018 y 2,51 para los modelos Logístico y Gompertz, respectivamente. Santoro & Col. (2005) obtuvieron 0,1687 y 5,378 para el modelo Logístico.

Tabla 4

Estimativas para el peso asintótico para Lote Experimental (L2)

Modelo	Parámetro		
	A	b	K
Logístico	353.3873167	6.6240611	0.2323749
Gompertz	469.092	2.510922	0.116175

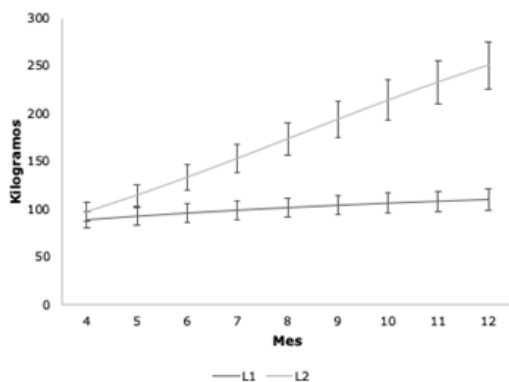
Nota. (A) en kg, constante de integración (b) y tasa de madurez (k) en días⁻¹ para diferentes funciones de crecimiento para los modelos Logístico y Gompertz.

Con respecto a la curva de crecimiento de los bovinos, considerando las medias de los pesos observados y los valores estimados por los modelos Logístico y de Gompertz, utilizando los parámetros descritos en la tabla 3 para el L1 y tabla 4 para el L2 (véase figura 2 y 3), se observó que el modelo Logístico subestimó los pesos para el L1; sin embargo, fue más ajustado para el L2 en contraposición en el modelo de Gompertz que fue bastante ajustado a los pesos observados para los dos loteos.

La función del modelo logístico puede haber subestimado el peso asintótico porque no es el más adecuado para describir el crecimiento inicial. Por lo tanto, el proceso de estimación de la tasa de madurez y, en consecuencia, el peso, se vieron afectados. De acuerdo con este criterio, se ha demostrado diferencias significativas en el análisis bajo la curva de los modelos, considerando proporción de la varianza del peso corporal explicada por el modelo en relación con la varianza total. Los modelos utilizados en el presente trabajo pueden ser considerados válidos para describir la curva de crecimiento de destetos cebuinos machos en el intervalo de edad contemplado los p-value (AUC) = 0.00, ya que todas las funciones presentaron valores de R2 correspondientes a 99.9 %.

Figura 2

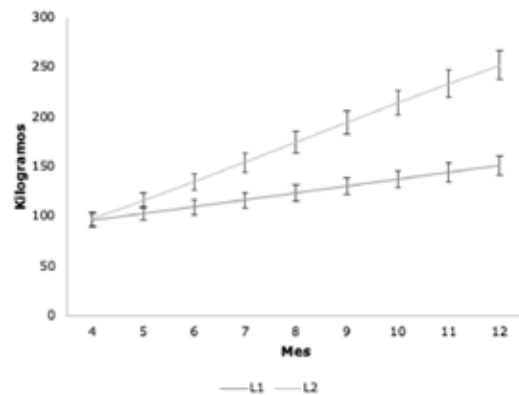
Estimación y diferenciación de la curva para ganado cebuino bajo el modelo logístico



Nota. Elaboración propia.

Figura 3

Estimación y diferenciación de la curva para ganado cebuino bajo el modelo de Gompertz.



Nota. Elaboración propia.

Una de las necesidades principales en las unidades productivas es la ganancia de peso en los bovinos y la disminución de los costos de producción, en especial en las etapas de levante y ceba. Para ello, es necesario el uso de complementos nutricionales elaborados con materias primas que se encuentren dentro de la unidad productiva y que mejoren la relación costo-beneficio, particularmente en la ganadería de carne.

El uso de complementos nutricionales, como los bloques elaborados a bajo costo, demuestra ser una estrategia efectiva para mejorar la ganancia de peso en bovinos. Estos bloques no solo son económicos de producir, sino que también se pueden preparar utilizando productos proteicos endógenos propios de la unidad productiva.

Según Bautista y Araque (1991), "los bloques nutricionales constituyen una estrategia alterna de suplementación de nutrientes a los rumiantes, que además de su fácil elaboración a nivel de fincas, permite el uso de materias primas del área" (p. 31). Esto subraya la importancia de aprovechar recursos locales para optimizar la producción ganadera de manera sostenible.

Los complementos nutricionales en presentación de bloques de 5 kg, administrados al L2 durante la etapa de levante, garantizaron el estándar de consumo propuesto por Obispo y Chicco (1993), quienes afirman que el requerimiento nutricional del cebuino en etapa de levante, el cual debe aportar los elementos mínimos para satisfacer la demanda apropiada de minerales y que estimular la función ruminal, debe ser de 0,938 kg/animal/día.

Para el L2, se escogió como base proteica la *Gliricidia sepium*, que es una de las leguminosas arbóreas más conocidas y difundidas en las zonas ganaderas del departamento de Antioquia, además de ser considerada como una de las especies más promisorias en la alimentación animal en condiciones tropicales, tal como lo demuestran las investigaciones de Araque (1997). Dichos alcances en nutrición de bovinos son corroborados por los resultados alcanzados en el L2. De igual manera, en los estudios presentados por Cabral (2007), donde en vista de las variaciones climáticas en el trópico y la poca calidad de los pastos usados en las producciones bovinas, se ha optado por realizar bloques nutricionales con leguminosas y aditivos, ya que estas muestran un alto valor nutritivo frente a otras especies vegetales.

De igual manera, Gutiérrez y Ayala (2009) indican que los bloques nutricionales a base de leguminosas, melaza y urea son una alternativa para completar la dieta de rumiantes cuando se alimenta con pastos de baja calidad, pues contienen niveles altos de proteína y minerales, fortaleciendo la función del rumen en la digestión de la fibra, es decir aumenta la digestibilidad. Adicionalmente, de acuerdo con la INIFAP (2003), la administración de este tipo de complementos nutricionales aumenta la actividad bacteriana del rumen, la proliferación de microorganismos celulíticos y la producción de proteína microbial, lo cual mejora el comportamiento de los animales en producción, favorece la ganancia de peso vivo diario y la conversión alimenticia. Esto disminuye los costos de suplementación hasta en 60 %.

En la alimentación bovina, el uso exclusivo de proteínas a base de gramíneas no permite mejorar el potencial productivo que pueda tener el rebaño, dada las características propias de los pastos tropicales que presentan bajos niveles de proteínas digestibles y altas tasas de fibra (Thomas & Miner, 1986). De acuerdo con Preston y Leng (1987), en Colombia la tasa de crecimiento de los novillos alimentados con hierba King suplementada con *Gliricidia sepium* aumentó curvilíneamente con el nivel de suplementación, con la tasa de crecimiento más alta en aproximadamente 30 %. Para el caso de L2, la ganancia diferencial de peso frente a L1 fue de 49,3 %, lo cual aumenta el margen en un 164 %, si se tienen en cuenta los estudios de Preston & Leng (1987).

El uso de los complementos nutricionales (bloques) en L2 permitió que este lote alcanzara una ganancia significativa de peso frente a L1, los cuales, administrados bajo una dieta estándar, no presentaban una rentabilidad eficaz frente a los costos de producción. En tal sentido, al administrar el complemento nutricional al L2, se registró una GDP efectiva del 49,3 %, lo cual bajo los costos de producción y da rentabilidad a menor plazo, ya que los bovinos del L2 llegaron a un peso ideal para la ceiba con respecto a L1.

La elaboración del complemento nutricional (bloques) se convierte en un insumo económico para el productor, cómo se puede observar en la tabla 5, en la que se describen los costos para la elaboración de un bloque de 5 kg, que cuesta 5580 pesos colombianos (en el año 2020). El L2 obtuvo una utilidad en el tratamiento con bloque nutricional de \$ 1.950/día con respecto al L1, que en los

240 días de suplementación significó una ganancia con bloque nutricional de \$468.000 pesos por animal. Al respecto, Ezquivel (2011) menciona que los costos en la elaboración de bloques multinutricional dependerá del tipo de material de relleno, así, los bloques se elaboran con harina de maíz, harina de soya, harina de sorgo tendrán un mayor costo que los que contienen harinas de follaje de árboles forrajero como Nacedero (*Trichanthera gigantea*), Madero negro (*Gliricidia sepium*), Cratylia (*Cratylia argentea*), Poró (*Erythrina spp*), Marango (*Moringa oleifera*).

Por tanto, la inclusión de forrajes en complementos nutricionales, como lo explican Mejías *et al.* (2007), contribuye a la estabilidad en el uso de recursos disponibles en la unidad productiva, lo que reduce el costo de alimentación y consumo, lo que logra un impacto de mayor magnitud en el comportamiento productivo.

Tabla 5

Costo del bloque nutricional de 5 kg – Precios suministrados en pesos colombianos

Ingredientes	Cantidad en (kilogramos)	Costo kg ingredientes	Valor total ingredientes
Melaza	1,5	1.350	2.025
Maíz	1	650	650
Cal	0,5	1.150	575
Matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	1,25	1000	1.250
Urea	0,25	1.960	490
Sal 6 %	0,25	1.857	465
Azufre	0,25	500	125
Total			5.580
Total, con mano de obra			9.000

Nota. Los precios consignados fueron tomados del mercado en el momento de hacer los bloques nutricionales Año 2020.

Conclusiones

El uso de complementos nutricionales en bovinos evidencia una mayor utilidad para la unidad productiva desde la perspectiva de la relación costo beneficio, donde se utilizan insumos más económicos y de fácil consecución. Lo anterior lleva a la obtención de ganancias adicionales si se estima la ganancia significativa de peso mediante su administración, como en el caso de L2, donde se evidencia una ganancia efectiva de 651 gr/día/animal y con una diferencia del 49,3 % con respecto a L1. Así pues, los ejemplares del L2 presentaron una mejor conformación física, así como también un mayor peso para iniciar la etapa de ceba.

Bajo el análisis estadístico y los resultados obtenidos se afirma la siguiente hipótesis: *el uso de bloques nutricionales es una alternativa favorable para incrementar la ganancia de peso diario en ganado cebuino bajo pastoreo en condiciones de periodos ambientales críticos*. Los resultados de L1 frente a L2 dejan claro que el uso de estos complementos facilita una ganancia efectiva de peso y mejora el proceso de producción en ganado de carne, en especial en las zonas tropicales y con climas adversos, especialmente en época de sequía, ya que incrementa la eficiencia del rumen, mejora la digestibilidad y aumenta el consumo de alimento, lo que se traduce en aumento en la ganancia de peso diario.

Recomendaciones

Para futuras investigaciones, se recomienda hacer el análisis de los criterios biológicos, además de los criterios estadísticos para comparar diferentes funciones no lineales al describir las curvas de crecimiento. Esto puede proporcionar resultados y conclusiones más precisos. Una vez concluida la etapa experimental, se considera interesante investigar sobre otros aspectos relacionados el tipo de ganado utilizado (raza y propósito). Por esto se propone lo siguiente:

- Extender los estudios expuestos en este artículo a otras razas comerciales tanto de carne como doble propósito.
- Trabajar en mejorar el modelo estadístico utilizado para tener en cuenta otras variables que son interesantes agregar en el estudio.
- Analizar con ayuda de exámenes bromatológicos que otro tipo de gramíneas presentan características similares o mejores a la *Gliricidia sepium* y de fácil consecución puedan ser utilizadas.

Bibliografía

- Araque, N. (2006). Bromatología del matarratón (*Gliricidia sepium*) a diferentes edades de corte en Urachiche. Yaracuy, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 24 (4).
- Arnhold, E. (2020, January 13). *The Comprehensive R Archive Network. Package 'easynls'*. Recuperado de <https://cran.r-project.org/web/packages/easynls/easynls.pdf>
- Calderón, F. L. (2014). *Elaboración y manejo de bloques nutricionales para bovinos en trópico*. EAE.
- Cardozo Vargas, J. V. (2013). *El matarratón (Gliricidia sepium) en la alimentación de rumiantes*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/1076/1/93117211.pdf>
- Castro, R. A. (2002). *Ganadería de carne: gestión empresarial*. EUNED.
- Clavero, T., Obando, O., & Van Pradd, R. (2002). Efecto de la suplementación con *Gliricidia sepium* en vacas lecheras en producción. *Pastos y Forrajes*, 25(2), 89-91.
- Combellas, J. (1994). Influencia de los bloques multinutricionales sobre la respuesta productiva de bovinos pastoreando forrajes cultivados. In *Conferencia Internacional Bloques Multinutricionales*. UNELLEZ, Guanare (pp. 67-70).
- Corpoica. (2012). *Nutrición y alimentación de bovinos en el trópico bajo colombiano*. Corpoica.
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario - FINAGRO. (2009, March). *Noticias*. <https://www.finagro.com.co/noticias/minagricultura-y-un-grd-inician-programa-apoyo-alimentaci%C3%B3n-bovina-ganaderos>
- Ludwig, A. (2011). Ajustamento de modelos estatísticos exponenciais ao crescimento de gado Zebu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(3), 297-302.
- Nochebuena, G., & O' Donovan, P. B. (1986). The nutritional value of high-protein forage from *Gliricidia sepium*. CIAT/FAO collaboration on Tropical Forages.

- Obispo, N. E., & Chicco, C. F. (1993). Evaluación de la densidad de oferta de bloques multinutricionales en bovinos. *Zootecnia Tropical*, 11(3), 209-220.
- Paz, C., Packer, I., & Freitas, R. (2000). Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(9), 1843-1851.
- Preston, T. R., & Leng, R. A. (1987). *Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and sub-tropics*. CIAT/FAO collaboration on Tropical Forages. <https://www.fao.org/docrep/014/t0270e/t0270e.pdf>
- Sánchez, A. (1994). *Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina*. Coro: Estación Experimental del Estado Falcón (FONAIAP).
- Santoro, K., Barbosa, S., & Brasil, L. (2005). Estimativas de parâmetros de curvas de crescimento de bovinos Zebu, criados no Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(2), 262-2279.
- Silva, F. (2001). Influência de fatores genéticos e ambientais nas estimativas dos parâmetros das funções de crescimento em gado Nelore. *Ciência e Agrotecnologia*, 25(1), 1195-1205.
- Silva, N., Aquino, L., & Silva, F. (2004). Curvas de crescimento e influência de fatores não genéticos nas taxas de crescimento do gado Zebu. *Revista Ciência Agrotecnologia*, 28(3), 647-654.
- Thomas, E., & Miner, W. (1986). *Producción de forrajes de alta calidad*. Chazy, MY: Agriculture Research Institute.
- Vargas, E., & Rivera, J. G. (1994). Efecto de la suplementación con bloques multinutricionales sobre el comportamiento productivo y reproductivo en ovejas de pelo africano y en ganado bovino. *Zootecnia Tropical*, 12(1), 5-16
-

Evaluación de los parámetros productivos y reproductivos en ovinos de la raza *Katahdin* y *Dorset* en el suroeste de Antioquia

*Evaluation of the productive and reproductive parameters in sheep of the *Katahdin* and *Dorset* breed in the southwest of Antioquia*

Elizabeth Vélez Suárez¹, Carlos Leonardo Guerra Marín²

1 Estudiante de zootecnia, Semillero de Investigación de Bienestar y sanidad animal. Grupo de investigación en agronomía y zootecnia GIAZ, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Oriente, Rionegro – Antioquia. Correo: elivelsua@gmail.com

2 Docente investigador. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Católica de Oriente. Correo: cguerra@uco.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9657-6359>

Resumen

El objetivo de este estudio es evaluar el desempeño productivo y reproductivo de los grupos raciales de ovejas *Katahdin* y *Dorset*. El trabajo se llevó a cabo en la granja La Ruana, ubicada en el suroeste de Antioquia. Los datos fueron obtenidos a través de los registros de producción de la granja, comprendidos entre el año 2007 y el primer trimestre del 2018. En dicho período se evaluaron algunos parámetros reproductivos y productivos como intervalo entre partos (IEP), peso al nacimiento (PN), peso al destete (PD), ganancia diaria (GD), edad al primer servicio (EPS) y porcentaje de preñez de los grupos raciales *Katahdin* y *Dorset*. Para el análisis de los datos, se utilizó estadística descriptiva para los parámetros edad al primer servicio (EPS) y el porcentaje de preñez; además, se utilizó un modelo mixto que incluye los efectos fijos (raza, sexo y año de nacimiento). Los análisis se realizaron a través del programa estadístico R Project versión 3.4.2. Los resultados arrojaron

que las hembras *Katahdin* presentaron un IEP menor en 29 días respecto a las hembras *Dorset* ($P < 0,001$); además, la EPS en la raza *Katahdin* también es menor, con respecto a la raza *Dorset*. En cuanto al PD, el grupo racial *Dorset* obtuvo 3,65 kg más que el grupo racial *Katahdin* ($P < 0,0027$); además, los machos pesaron 3.66 kg más que las hembras. Al igual que PD, los ovinos de la raza *Dorset* obtuvieron 0.13 kg más en PN ($P < 0,0001$). Para ambos grupos raciales, se observó un comportamiento similar para el porcentaje de preñez entre 2008 y 2015, siendo el 2013 el año con menos preñeces. Los resultados encontrados permiten ratificar que se debe seleccionar la raza de acuerdo con los resultados que se quieran obtener para que puedan expresar la mayor producción posible; además, se puede inferir que la raza, el sexo y el año de nacimiento tienen efectos sobre las características IEP, PD, PN, GD, EPS y porcentaje de preñez.

Palabras clave

Ovinos, *Katahdin*, *Dorset*, Grupo racial

Abstract

The objective of this study is to evaluate the productive and reproductive performance of the racial groups of sheep *Katahdin* and *Dorset*. The work was carried out at La Ruana farm, located in the southwest of Antioquia. The data was obtained through the production records of the farm between the year 2007, and the first quarter of 2018. During this period, some reproductive and productive parameters were evaluated, such as interval between births (IEP), birth weight (PN), weaning weight (PD), daily gain (GD), age at first service (EPS) and pregnancy percentage. For the analysis of the data, descriptive statistics were used for the parameters age to the first service (EPS) and the percentage of pregnancy. In addition, a mixed model was used that includes the fixed effects (race, sex and year of birth). The analyzes were carried out through the statistical program R Project version 3.4.2. The results showed that the *Katahdin* females presented a lower IEP in 29 days compared to the *Dorset* females (P

<0.001); besides, the EPS in the *Katahdin* race is also smaller, with respect to the *Dorset* race. As for the PD, the racial group *Dorset* obtained 3.65 kg more than the racial group *Katahdin* (P <0.0027). In addition, the males weighed 3.66 kg more than the females, like PD, the sheep of the *Dorset* breed obtained 0.13 kg more in PN (P <0.0001). For both racial groups, a similar behavior was observed for the pregnancy percentage between 2008 and 2015, with 2013 being the year with fewer pregnancies. The results found allow us to confirm that the breed should be selected according to the results that we want to obtain so that they can express the highest possible production. In addition, it can be inferred that the race, sex and year of birth have effects on the IEP, PD, PN, GD, EPS and pregnancy percentage characteristics.

Keywords

Sheep, *Katahdin*, *Dorset*, Racial group.

Introducción

Se estima que para el 2014, el inventario de ovinos en el mundo fue de 1.195 millones de cabezas destinadas para la producción de lana, piel y leche; el 42 % de esta producción se centra en países como China continental, Australia, Nueva Zelanda, Reino Unido y Turquía. Con respecto al continente americano, se estima que este aporta el 5 % de la carne de ovino producida a nivel mundial, siendo Brasil el país líder (Min agricultura, 2017). El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), por su parte, reporta que la explotación de la especie ovina en Colombia cuenta con aproximadamente 1,4 millones de ejemplares, distribuidos principalmente en los departamentos de la Guajira (44,2 %), Magdalena (7,41 %), Boyacá (7,30 %), Cesar (6,97 %) y Córdoba (6,66 %).

En cuanto al departamento de Antioquia, según el último censo agropecuario, el número de animales asciende a 32.336 ejemplares (ICA, 2016), y el consumo per cápita en Colombia es de 500 gramos; estas cifras demuestran el desarrollo del sistema productivo en gran parte del territorio nacional, así como la adaptabilidad que tienen los animales a las condiciones bioclimáticas del país. Las principales razas ovinas que se producen en Colombia son *Katahdin* y Santa Inés como líneas maternas, mientras que en la línea paterna se produce la Dorper (Fedegan, 2016).

Debido al incremento de la producción de carne de ovinos en Colombia, es necesario el fortalecimiento de los sistemas productivos a través de la identificación de los indicadores productivos y reproductivos. Uno de los componentes de la producción ovina son los programas de mejoramiento animal, que utilizados adecuadamente pueden aumentar la productividad y competitividad de los rediles. Otro aspecto importante es la recolección de datos y registros, ya que permiten utilizar la información eficazmente. De esta manera se pueden tomar mejores decisiones en el ámbito productivo y reproductivo. Según Vergara (2017), los pocos estudios sobre dichos parámetros se convierten en un factor limitante, para ser más precisos, sobre dichas decisiones.

Por esta razón, se decide realizar el presente estudio, ya que la granja La Ruana cuenta con los registros suficientes para lograr un buen análisis de los parámetros productivos y reproductivos de ambos grupos raciales, permitiendo lograr una interpretación certera y confiable. Los resultados obtenidos se vieron reflejados tanto en la productividad como en la rentabilidad de la granja; además, permitieron la caracterización y conocimiento de las razas *Katahdin* y *Dorset*, mediante la evaluación de parámetros productivos y

reproductivos, sirviendo como base y material de consulta para los diferentes productores y actores del sector agropecuario. La importancia de este estudio radicó en ofrecer información pertinente y clara para el sector, logrando que los animales expresen su potencial genético y, de esta manera, mejorar los índices y la rentabilidad de los rediles.

Adicionalmente, los parámetros productivos y reproductivos evaluados en este estudio fueron los siguientes: peso al nacimiento (PN), peso al destete (PD) ganancia diaria (GD), intervalo entre partos (IEP), edad al primer servicio (EPS) y porcentaje de preñez. Estas variables están influenciadas por factores como la raza, alimentación, manejo, sanidad, condiciones de suelo y clima. Asimismo, el factor ambiente es esencial debido a que interviene directamente sobre la respuesta de los animales a la alimentación, reproducción, genética y nutrición. Por la importancia que tienen los parámetros productivos y reproductivos para un redil, el objetivo de este estudio fue evaluar su desempeño en los grupos raciales de ovejas *Katahdin* y *Dorset* en la granja La Ruana, ubicada en el suroeste del departamento de Antioquia.

Materiales y métodos

Localización. La investigación se llevó a cabo en la granja La Ruana, especializada en ovinocultura. Las razas con que cuenta el redil son *Katahdin*, Pelibuey y *Dorset* puros. Se encuentra ubicada en el municipio de Caramanta, en la región del Suroeste del

departamento de Antioquia (Colombia) a 117 Km de Medellín. Cuenta con una altitud de 2050 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 17°C (Caramanta-Antioquia, 2016).

Animales. Fueron evaluados los registros productivos y reproductivos de intervalo entre partos (IEP), peso al destete (PD), peso al nacimiento (PN), ganancia diaria (GN), edad al primer servicio (EPS) y porcentaje de preñez de 2945 ovinos de los grupos raciales *Katahdin* y *Dorset* entre el año 2007 y el primer trimestre del 2018.

Nutrición. Se identificó que la alimentación de los ovinos varió en el transcurso del tiempo de esta manera: en el periodo 2004-2010 se basaba en pastoreo constante, también consumían botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y se suplementaba con alimento balanceado comercial. Durante el periodo 2010-2018, la alimentación se basó en pasto de corte Kinggrass (*Pennisetum sp.*) y Elefante morado (*Pennisetum purpureum*), que se cortaban a los 90 días, se complementa con Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en una proporción 70 % y pasto de corte, 30 % botón de oro (*Tithonia diversifolia*); además, se suplementaba con alimento balanceado comercial 500 gr/ día.

Estadística. El estudio se realizó por medio de los datos secundarios obtenidos de los registros de la producción de la granja. Para ello, se hicieron vistas periódicas para la recolección de los datos que fueron almacenados y gestionados en el software Oviswebs. Los datos están comprendidos

entre el año 2007 y el primer trimestre del 2018; en dicho período se evaluaron algunos parámetros reproductivos y productivos de los grupos raciales *Katahdin* y *Dorset*, mediante modelos de regresión efectos mixtos ajustados en el software estadístico R Project (R Core Team, 2019). Los modelos utilizados se pueden enmarcar dentro de la siguiente estructura:

$$Y_i = X_i \beta + Z_i a_i + \varepsilon_i, \Sigma_i = \text{Var}(Y_i) = Z_i D_i Z_i^T + R_i, D_i = \sigma_a^2 A_i$$

$$\varepsilon_i \sim N(0, R_i) \quad b_i \sim N(0, D_i)$$

donde,

- Y_i es el vector que contiene los valores del carácter observado en el individuo i : intervalo entre partos (IEP), peso al destete (PD) y peso al nacimiento (PN).
- β es el vector de efectos fijos. Para el caso de los modelos ajustados, se considera la raza, el efecto del tiempo (año de observación) y el sexo, en los casos que sea pertinente¹.
- a_i es un vector de efectos aleatorios animales del individuo i .
- A_i es la matriz de parentesco cuyas componentes contienen la correlación entre individuos y σ_a^2 es la varianza de a_i .
- ε_i es el vector de efectos residuales, que incluye los efectos ambientales y los efectos genéticos no aditivos.

¹ El IEP solo puede ser evaluado para las hembras.

Por otro lado, se caracterizaron las variables de edad al primer servicio, porcentaje de preñez de las hembras en producción del retil mediante estadística descriptiva.

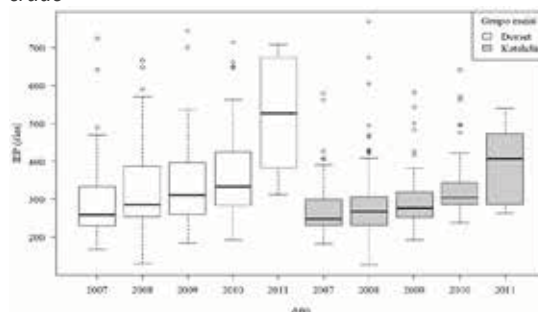
Resultados

Intervalo entre partos (IEP)

Un análisis exploratorio a partir de gráficas descriptivas para esta variable evidencia el aumento del intervalo entre partos del rebaño a través del tiempo.

Figura 1

IEP para ambos grupos raciales; Boxplot para el dato crudo



Nota. Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la gráfica, el modelo se ajusta en los primeros 5 años de la ventana de observación, ya que se tienen datos suficientes en estos períodos para comparar ambas líneas genéticas evitando sesgos. El resultado se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Estimación de los efectos fijos para el IEP. La línea base es la raza Dorset

	Estimado	Error Estándar	Valor Z	Valor p
Intercepto	312.136	15.590	38.176	<0.00001
Raza (<i>Katahdin</i>)	-28.856	9.646	-2.992	9.263e-04
Tiempo	-17.679	12.258	-0.346	0.025
Tiempo ²	7.475	2.275	3.286	<0.00001

Nota. Interpretación de la Tabla

- Intercepto: El valor Z es 38.176 y el valor p es muy pequeño (<0.00001), indicando que el intercepto es altamente significativo.
- Raza (*Katahdin*): El valor Z es -2.992 y el valor p es 9.263e-04, lo que sugiere que la raza *Katahdin* tiene un efecto significativamente diferente respecto a la raza base (*Dorset*).
- Tiempo: El valor Z es -0.346 y el valor p es 0.025, lo que sugiere un efecto significativo, pero menos fuerte que los anteriores.
- Tiempo²: El valor Z es 3.286 y el valor p es muy pequeño (<0.00001), indicando un efecto cuadrático del tiempo que es altamente significativo.

En resumen, Z mide la distancia en errores estándar que se aleja un coeficiente de su valor bajo la hipótesis nula, mientras que p es la probabilidad asociada con esta distancia, indicando la significancia estadística del coeficiente.

Tabla 2

Parámetros de varianza y covarianza para el modelo de la ecuación (2)

	Parámetros de covarianza	Estimación
σ_a^2	Aditiva	2688
σ_e^2	Residual	6705

Nota. σ_a^2 (Varianza aditiva): 2688, que indica la cantidad de variabilidad en la población atribuible a los efectos genéticos aditivos.

σ_e^2 (Varianza residual): 6705, que representa la variabilidad en los datos que no se explica por el modelo, es decir, el error o ruido.

Las hembras *Katahdin* poseen un IEP entre 28 y 29 días menor con respecto a las hembras *Dorset*. Esta diferencia es estadísticamente significativa ya que esta característica es indicadora de la eficiencia reproductiva del redil. También se relaciona con el número de partos hembra año; así, el aumento del número de días de IEP significa una potencial pérdida económica y baja rentabilidad para el productor.

Peso al destete (PD)

Luego de realizar una revisión de los datos, se encontró que solo era posible comparar las razas en el año 2012 debido a la disponibilidad de los datos (ver Figura 2).

Figura 2

Conteo de datos disponibles referentes al peso al destete para cada grupo racial según el año

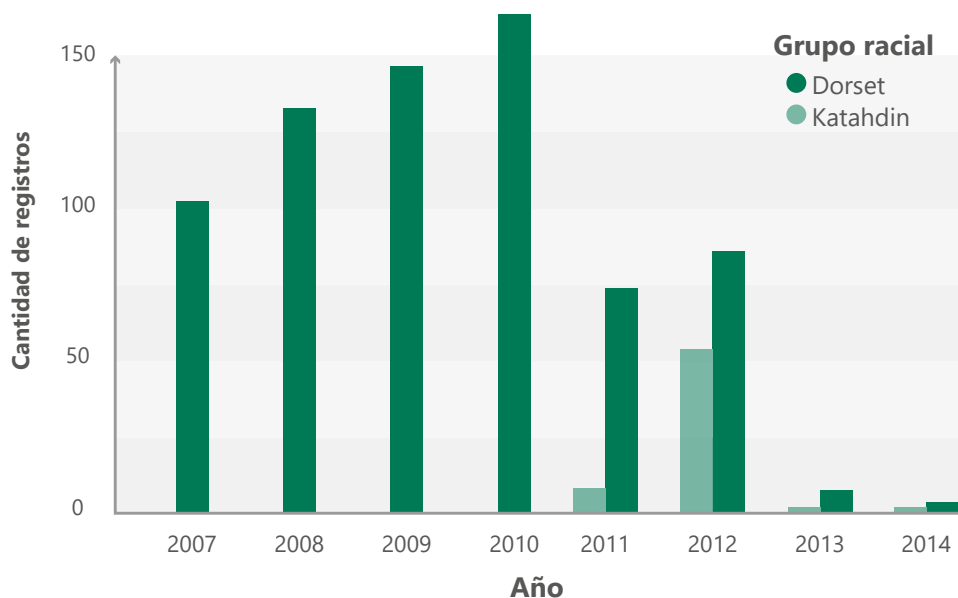
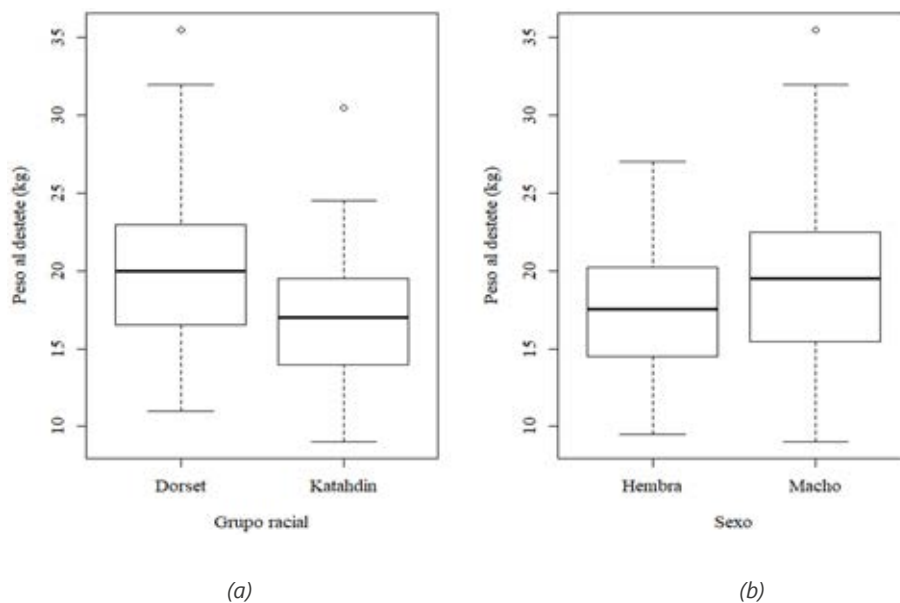


Figura 3

Peso al destete según (a) el grupo racial, (b) el sexo



Los resultados para el año en consideración se presentan en la Tabla 3. De acuerdo con el modelo ajustado, los individuos del grupo *Dorset* tienen un peso promedio mayor en aproximadamente 3.65 kg respecto a los *Katahdin*. Los ejemplares de la raza *Dorset* tuvieron un estimado de 20 kg, mientras los ejemplares de la raza *Katahdin* obtuvieron 17 kg para PD. El peso de los machos es 3.66 kg mayor respecto al de las hembras en promedio, los machos tuvieron un peso 19 kg, y hembras 15,3 kg (ver Tabla 3). Los gráficos descriptivos son congruentes con el resultado hallado (ver Figura 3).

Tabla 3

Estimación de los efectos fijos para el PD

	Estimado	Error Estándar	Valor Z	Valor p
Intercepto	18.7808	0.8385	22.397	<0.00001
Sexo (Macho)	3.6623	0.5667	6.462	<0.00001
Raza (<i>Katahdin</i>)	-3.6488	1.2161	-3.000	0.0027

Nota. Presenta las estimaciones de los efectos fijos para el peso al destete (PD). El intercepto es 18.7808, indicando el valor promedio base. El efecto del sexo (Macho) es positivo y significativo (3.6623, $p < 0.00001$), mientras que la raza *Katahdin* tiene un efecto negativo significativo (-3.6488, $p = 0.0027$), sugiriendo que los machos pesan más y que la raza *Katahdin* tiene un PD menor comparado con la raza de referencia. La línea base corresponde a las hembras de raza *Dorset*.

Tabla 4

Parámetros de varianza y covarianza para el modelo de la ecuación (2)

	Parámetros de covarianza	Estimación
σ_a^2	Aditiva	22.432
σ_e^2	Residual	3.958

Nota. Muestra las estimaciones de los parámetros de varianza y covarianza para el modelo de la ecuación (2). La varianza aditiva ($\sigma_a^2 = 22.432$) refleja la contribución genética a la variabilidad del rasgo, mientras que la varianza residual ($\sigma_e^2 = 3.958$) representa la parte de la variabilidad no explicada por el modelo, sugiriendo una influencia genética significativa en el rasgo estudiado.

Peso al nacimiento (PN)

Una revisión de los datos análoga a la sección anterior evidencia el severo desbalanceo en el registro de peso de nacimiento de los ovinos granja para los años 2015, 2016 y 2017, como lo muestra la Figura 4. Por esta razón, estos años se excluyen del proceso de modelación. También se puede observar una alta variación de las medianas del PN en ambos grupos raciales. Una de las causas de esta inconsistencia se debe al cambio en la alimentación, ya que los datos fueron tomados en un periodo largo de tiempo y la dieta tuvo varios cambios. Aplica también para PD.

Figura 4

Conteo de datos disponibles referentes al peso al nacimiento para cada grupo racial según el año

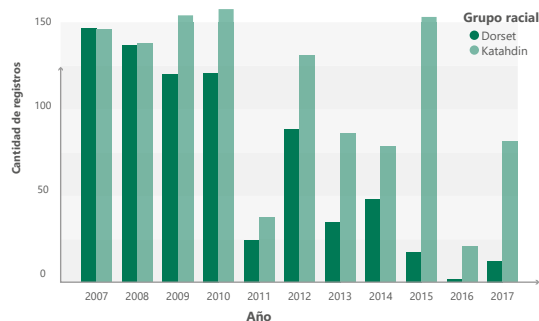


Tabla 5

Estimación de los efectos fijos para el PN

	Estimado	Error Estándar	Valor Z	Valor p
Intercepto	4.2186	0.0631	66.885	<0.00001
Raza (<i>Katahdin</i>)	-0.1295	0.0456	4.366	<0.00001
Sexo (Macho)	0.1990	0.0760	-1.704	0.0442
Tiempo	-0.0471	0.0141	-3.351	0.0004

Nota. La Tabla 5 presenta las estimaciones de los efectos fijos para el PD. El intercepto (4.2186) es significativo, indicando una base sólida para el modelo. La raza *Katahdin* tiene un efecto negativo significativo (-0.1295), al igual que el tiempo (-0.0471), mientras que el efecto del sexo (macho) es positivo, pero menos significativo (0.1990), mostrando diferencias relevantes en el PD en función de estas variables. La línea base corresponde a las hembras de raza *Dorset*.

Tabla 6

Parámetros de varianza y covarianza para el modelo de la ecuación (3).

	Parámetros de covarianza	Estimación
σ_a^2	Madre	0.1620
σ_e^2	Residual	0.6795

Nota. La Tabla muestra los parámetros de varianza y covarianza del modelo de la ecuación (3). La varianza aditiva atribuible a la madre (σ_a^2) es 0.1620, mientras que la varianza residual (σ_e^2) es 0.6795. Esto indica que la variación residual es mayor que la variación debida a la madre en el modelo.

Como se puede apreciar, las crías *Katahdin* tienen un peso al nacimiento aproximadamente 0.13 kg menor respecto a las crías *Dorset*. Aunque esta diferencia es estadísticamente significativa, su valor no es significativo desde el punto de vista fisiológico. En otras palabras, aunque la diferencia es real y medible, no es lo suficientemente grande como para afectar de manera importante la salud o el desarrollo de las crías.

Ganancia de peso promedio (GP)

El análisis gráfico para el peso de ambos rediles reveló que una porción mayor de individuos *Dorset* supera los 75 kg. También se observa mayor dispersión para este grupo racial (Figura 6).

Los datos de peso se procesaron para calcular la ganancia diaria promedio (\bar{GP}) de cada grupo racial, dada por la siguiente expresión:

$$\bar{GP} = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} GP_i \quad GP_i = \left(\frac{Peso_{fin} - Peso_{in}}{TP} \right)_i$$

En este caso, n_k corresponda al número de individuos del grupo racial k , y TP_i es el tiempo de permanencia en el redil del individuo i , el cual fue identificado para cada individuo dentro de la base de datos.

Tabla 7

Ganancia promedio para ambos rediles

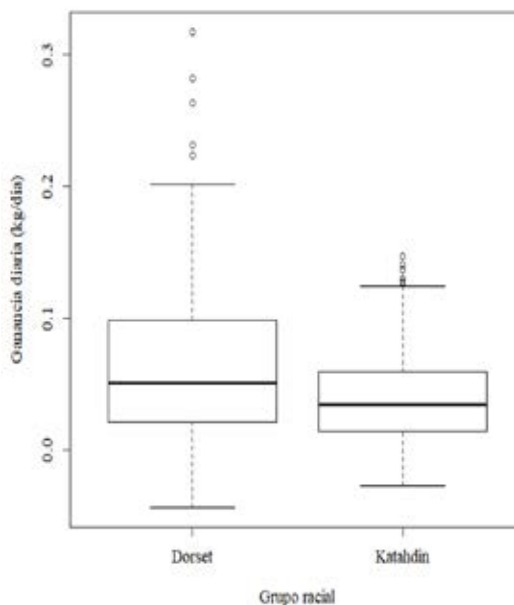
Grupo racial	Ganancia promedio (kg)	Error estándar
Dorset	0.0612	0.0034
Katahdin	0.038	0.0024

Nota. Los corderos *Dorset* presentan una mayor ganancia de peso promedio (0.0612 kg) que los *Katahdin* (0.038 kg), lo que sugiere una ventaja en velocidad de crecimiento bajo las mismas condiciones.

La ganancia de peso diaria tuvo un valor levemente mayor para el grupo racial *Dorset*. A pesar de este resultado, no se observan diferencias significativas a nivel poblacional entre ambos grupos raciales, esto debido a que el grupo en mención posee una dispersión mayor. Tal resultado se evidencia en la siguiente figura.

Figura 5

Boxplot para la ganancia diaria de peso para ambos grupos raciales.

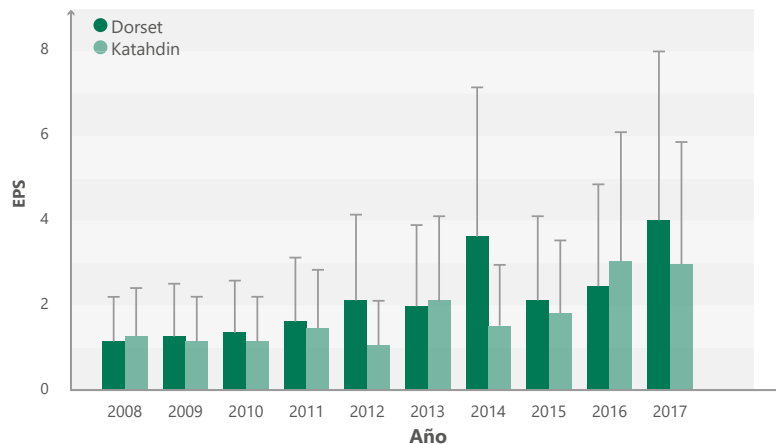


Edad al primer servicio (EPS)

Esta variable evidencia un aumento neto durante todo el período de observación. En general, el grupo racial *Dorset* se presenta como aquel con mayor EPS. En los últimos períodos se observa un aumento en la variabilidad de este parámetro reproductivo.

Figura 6

EPS promedio en meses para los dos grupos raciales, con barras de error que ilustran la desviación estándar

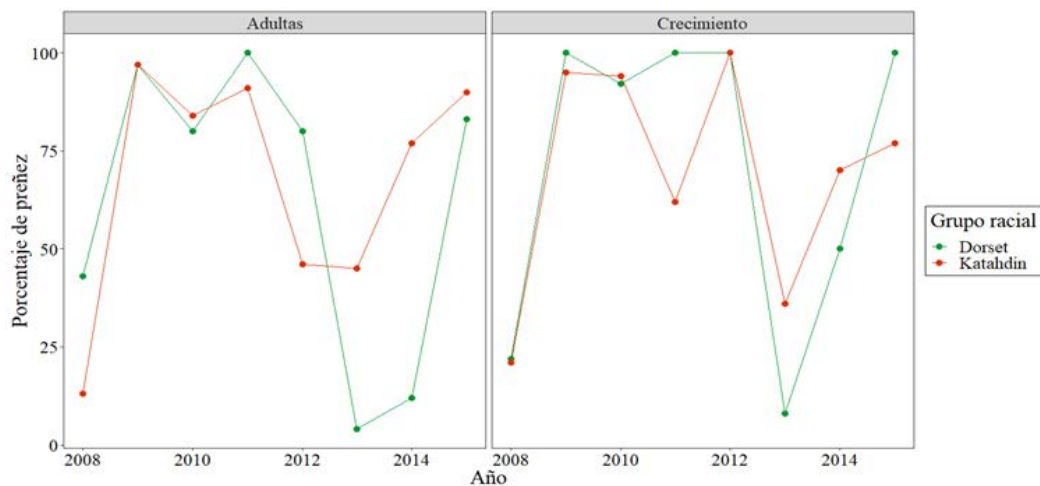


Porcentaje de preñez

Para ambos grupos raciales, se observó un comportamiento similar para el porcentaje de preñez entre 2008 y 2015, siendo el 2013 el año con menos embarazos. En el año mencionado, el grupo racial *Dorset* tiene menor porcentaje de preñez. Observar la Figura 7 y Figura 8.

Figura 7

Porcentaje de preñez para ambos grupos raciales



A pesar de que se observan diferencias, estas no son significativas, tal como se evidencia en los siguientes resultados:

Figura 8

Porcentaje de preñez para ambas razas.

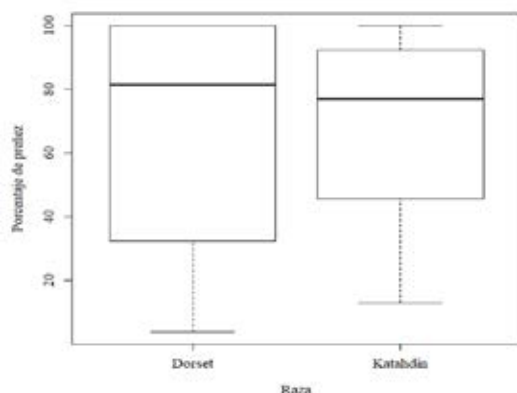


Tabla 8

Porcentaje de preñez para ambos rediles

Grupo racial	Porcentaje de preñez	Error estándar
Dorset	66.94	9.34
Katahdin	68.63	7.07

Nota. Ambos grupos muestran porcentajes de preñez bastante cercanos, con un leve aumento en el grupo *Katahdin*. El error estándar, más bajo para el grupo *Katahdin*, sugiere que hay menos variabilidad en la estimación de preñez para este grupo comparado con el grupo *Dorset*

Discusión

Intervalo entre partos (IEP)

En un estudio se evaluó el comportamiento reproductivo y productividad de ovejas F1

Pelibuey x Blackbelly (P x B), y sus cruces con Dorper y *Katahdin* (Sintético). El estudio se hizo por medio del análisis de 1.612 datos de intervalos entre partos (IEP), utilizando un modelo estadístico que incluyó los efectos fijos de grupo racial materno (GRM), año de parto (AP), época de parto (EP), número de parto (NP) y tamaño de la camada al destete (TCD), grupo de intervalos entre partos (GIP); finalmente, el efecto de la madre dentro de del grupo racial materno (GRM) fue incluido como efecto aleatorio. En el estudio, se obtuvo un IEP de $261,5 \pm 1,9$ días, concluyendo que la productividad del grupo racial cruzado con *Katahdin* fue el más eficiente. En este caso, los efectos ambientales tienen más importancia que los efectos genéticos (Hinojosa *et al.*, 2015). Este resultado es similar al encontrado en esta investigación, observándose que la raza *Katahdin* tiene mejores índices reproductivos. Sin embargo, hay una diferencia: en este caso, el efecto del grupo racial afecta este parámetro.

En otro estudio realizado en Guatemala, donde se evaluó el comportamiento reproductivo de ovejas de pelo (Dorper, Pelibuey, Blackbelly y *Katahdin*), los valores encontrados para IEP en las razas Dorper y Pelibuey fueron mayores a los reportados, mientras que para Blackbelly y *Katahdin* fue más corto (233 y 240 días respectivamente). Con estas hembras se obtienen dos partos en año y medio, resultado similar al encontrado en este estudio, donde las hembras *Katahdin* tuvieron en promedio menos días de IEP (Serrana, 2011).

Peso al nacimiento (PN) y al destete (PD)

En un estudio realizado en Chile (Muñoz, 2009), donde se realizó la evaluación productiva de las razas *Dorset*, *Coopworth* y *Texel*, en relación con la productividad de las razas, se determinó que los pesos máximos fueron alcanzados por la raza *Dorset*, con 40.2 kg para hembras, y 42.2 kg en machos. Los pesos de la raza *Dorset* presentan una clara tendencia al aumento desde el nacimiento hasta el momento del destete. Así un individuo de esta raza llega a pesar al nacimiento, un promedio de 5.01 kg y 5.51 kg para hembras y machos, respectivamente. Mientras tanto, para las razas *Coopworth* el peso es de 4.56 kg para hembras y 4.92 kg para machos. En otras dos razas el PN fue significativamente menor ($p < 0,005$), resultado similar al encontrado en este estudio, donde la raza *Dorset* tuvo un peso superior al nacimiento con respecto a la raza *Katahdin*. Además, se puede observar que en PD la raza *Dorset* también fue superior sobre las otras dos razas. El PD para *Dorset* fue de 21.76 kg para hembras, y 20.4 kg para los machos presentando una diferencia aproximadamente de 3.5 kg con respecto a los grupos raciales *Coopworth* y *Texel*. Se observa una similitud en los datos hallados en este trabajo, en el que la raza *Dorset* tuvo un peso superior de 3.65 kg. En cuanto al sexo, las hembras obtuvieron un peso mayor que los machos en el estudio citado, resultado que difiere del encontrado en este estudio, ya que los machos tienen un mayor peso.

En otro estudio realizado por Chávez (2011) se evaluó el comportamiento productivo y reproductivo de las razas *Pelibuey*, *Katahdin* y *Dorper*. Se encontró que los machos son más pesados que las hembras, en promedio 300 gr más. Este es un resultado similar al hallado en este estudio, lo que indica que los machos son más dependientes del ambiente uterino. Según Martínez (2006), esta diferencia puede deberse a que, en los machos, la presencia de la hormona testosterona, estimula el desarrollo muscular y ejerce una influencia inhibitoria sobre la deposición de grasa, lo que favorece una ganancia de peso más eficiente.

En cuanto al efecto que tiene los factores ambientales en el crecimiento y desarrollo de corderos *Katahdin*, se desarrolló un estudio en México con el objetivo de establecer el comportamiento productivo en términos de peso al nacimiento y a los 150 días. Durante este estudio, se analizó la información de 1465 datos generados durante 6 años, el modelo utilizado incluyó los efectos de año, época de nacimiento, edad de la madre, tipo de parto, sexo del cordero y sistema de crianza de los corderos, obteniendo los pesos al nacimiento, 50, 100 y 150 días, los efectos fueron significativos ($P > 0.05$). El tipo de parto y el sexo afectaron el peso al nacer ($P > 0.05$) (Sánchez, 2012).

Ganancia de peso diaria (GD)

Con respecto a la ganancia de peso diaria, en una investigación llevada a cabo en Santander-Colombia, donde se estimaron los parámetros

genéticos de las razas ovinas Romney Marsh, Hampshire, *Katahdin* y Santa Inés, se observaron valores de GDP al momento del destete de 164 gr para la raza Romney Marsh, 149 gr para la raza Hampshire, 107 gr para la raza *Katahdin* y 102 gr para la raza Santa Inés. Se observó que la raza *Katahdin*, presenta GD inferior con respecto a las otras razas (Pérez 2017). Este es un resultado similar al encontrado en este estudio, donde se encontró una leve diferencia de la GD, donde fue superior en la raza *Dorset*.

En otro estudio, la ganancia de peso diaria en la raza *Dorset* fue de 391.7 para hembras y de 410.1 gr para los machos, valor superior en 100 gr con respecto a la raza Texel (Aguila, 2004). Esto ratifica lo encontrado en el presente estudio, donde el grupo racial *Dorset* tiene una mayor GD.

Edad al primer servicio (EPS)

Un estudio realizado por Zabala (2008) encontró que las razas Pelibuey, Blackbelly y Santa Cruz demuestran mayor precocidad en comparación con las Dorper y *Katahdin*, resultado que contrasta con este estudio, ya que la raza *Katahdin* presentó menor EPS.

Buratovich (2010) menciona en un artículo que:

[el] desarrollo sexual del animal joven se ve afectado por factores genéticos, ambientales y su interacción. Existen grandes diferencias entre razas e inclusive entre líneas o estirpes de

una misma raza, en la edad y el peso al cual tiene lugar el primer celo. La aparición de la pubertad también está condicionada por la estación del año en que se produce el nacimiento y la cría, la nutrición en ese período y las interacciones sociales.

Esta afirmación coincide con lo hallado en este trabajo, ya que el grupo racial afectó de manera importante la EPS, al igual que los efectos ambientales, en este caso "año de nacimiento", por lo cual se puede inferir que la raza *Katahdin* presenta una mayor adaptación a las condiciones bioclimáticas.

Porcentaje de preñez

El porcentaje de preñez es un índice que varía en las diferentes explotaciones, característica influenciada por el ambiente, nutrición y factores bioclimáticas. La razón por la cual en el año 2013 se presentó menor porcentaje de preñez (5 %); esto debido a que, según los registros, se realizaron cambios en la alimentación y el manejo del redil.

Conclusiones

Los resultados encontrados en este estudio permiten concluir que el PN es una característica de alta heredabilidad genética y no está influenciada por el medio ambiente, ya que las hembras de ambas razas estuvieron bajo las mismas condiciones ambientales y alimenticias. En cuanto al PD, las crías de *Dorset* obtuvieron un mayor

PN y PD que las crías *Katahdin*, por lo cual se puede inferir que el PD es indicativo de buena lactancia y excelente habilidad materna, lo que se ve reflejado en corderos más fuertes. La GD fue levemente mayor para el grupo racial *Dorset*, debido a las razones anteriormente mencionados.

Se concluye que la raza *Dorset*, por su aptitud lechera, obtiene los mejores resultados en PN, PD y GD, debido a su excelente lactancia y habilidad materna. Por otro lado, las características IEP y EPS fue superior la raza *Katahdin* debido a su aptitud cárnica, ya que son hembras precoces y fértiles; las hembras *Dorset*, por su parte, presentan un ciclo estral muy variable.

La selección de los animales para producción debe estar ligada a aspectos tanto fenotípicos como genotípicos, se debe seleccionar la raza de acuerdo con los resultados que se quieran obtener para que puedan expresar la mayor producción posible, se reafirma que el grupo racial, y el sexo tiene efectos positivos significativos sobre las características PN, PD, GD, IEP, EPS, por lo cual debe ser tenidos en cuenta para plantear los objetivos del programa de mejoramiento genético.

La inclusión de efectos como sexo, año de nacimiento y la raza en el modelo de estimación genética fueron determinantes para mantener un análisis adecuado y poco sesgado, teniendo en cuenta diferencias generadas inherentes al efecto de la genética.

Bibliografía

- Águila, M. Evaluación de dos genotipos ovinos carniceros (Texel y Dorset) para el distrito agrario climático de última esperanza. *XII Región de Magallanes*. (Page 53).
- Barrientos, M. O. (2009). *Evaluación del comportamiento reproductivo y productivo de ovinos en la XII Región de Magallanes*. [Tesis de licenciatura] Universidad de Magallanes.
- Buratovich, O. (2010). Eficiencia reproductiva en ovinos: factores que la afectan. *Parte II: otros factores no nutricionales*. Sitio Argentino de Producción Animal
- Alcaldía Municipal de Caramanta, Antioquia. (2016, May 17). Nuestro municipio - Caramanta. *Alcaldía Municipal de Caramanta, Antioquia*. http://www.caramanta-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml
- Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN). (2016). Las 5 razas ovinas con más presencia en Colombia. *FEDEGAN*. <https://www.fedegan.org.co/noticias/las-5-razas-ovinas-con-mas-presencia-en-colombia>
- Gamboa, A. C. (2011). Evaluación del comportamiento productivo y reproductivo de las razas Pelibuey, Kathadin y Dorper bajo condiciones de estabulación. [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2016). Censo Pecuario Nacional - 2016. *Censo Ovino y Caprino en Colombia*. <https://www.ica.gov.co/get-doc/8232c0e5-be97-42bd-b07b-9cdbfb07fcac/Censos-2012.aspx>
- Hinojosa-Cuéllar, J. A., Hernández-Hinojosa, J. O., & Hernández-Mendo, H. (2015). Productividad de ovejas F1 Pelibuey x Blackbelly y sus cruces con Dorper y Katahdin. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(2), 167-174.
- Lopera, Y. (2018). *Oviswebs.2013* (E. Vélez Suárez, Entrevistador). *Oviswebs*.
- Martínez, R. A. (2006). Evaluación fenotípica y genética para ovinos. *Redalyc*, 15.
- Ministerio de Agricultura de Colombia. (2017, June). *Informe Ovino-Caprino*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/OvinoCaprina/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/2017%20Junio%20Ovino-Caprino.pdf>
-

- Moncada Montenegro, A. (2015, March 27). Informe sector ovino-caprino: Un gremio que pisa fuerte en Colombia. *Contexto Ganadero*. <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-sector-ovino-caprino-un-gremio-que-pisa-fuerte-en-colombia>
- Pérez Palencia, J. O. (2017). *Estimación de parámetros genéticos de las razas ovinas Romney Marsh, Hampshire, Katahdin y Santa Inés en Colombia* (Doctoral dissertation) <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63365>
- R Core Team. (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Sánchez, S. (2012). Importancia de las razas Katahdin y Dorper en la ganadería ovina de pelo en México. *Dialnet*, 5-42.
- Serrano, B. (2011). Evaluación del comportamiento reproductivo. *Zootecnia Tropical*, 1-34.
- Vásquez, S. (2011, September). Comportamiento productivo y características de la canal en corderos provenientes de la cruce de ovejas Katahdin con machos de cuatro razas cárnicas especializadas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242011000300001
- Vergara Garay, O., Medina Ríos, H., Robles Sierra, C., Simanca Sotelo, J., & Bustamante Yanez, M. (2017). Determinación de la curva de crecimiento en ovinos criollos de pelo, mediante la utilización del modelo Gompertz, en el trópico bajo colombiano. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 385-391.
- Zavala Elizarraraz, R., Ortiz Ortiz, J. R., Ramón Ugalde, J. P., Montalvo Morales, P., Sierra Vásquez, A., & Sanginés García, J. R. (2008). Pubertad en hembras de cinco razas ovinas de pelo en condiciones de trópico seco. *Zootecnia Tropical*, 26(4), 465-473. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000400006
-

Evaluación de alternativas de manejo y control de la especie vegetal ojo de poeta en el Oriente de Antioquia

Evaluation of Management and Control Alternatives for the Plant Species Black-eyed Susan Vine (Thunbergia alata) in Eastern Antioquia

*Yesica Alejandra Ospina Idárraga¹, Yuli Alejandra Pérez Grajales²,
Rubén Darío David³*

1 Agrónoma, Universidad Católica de Oriente UCO, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Rionegro, Colombia.

2 Agrónoma, Universidad Católica de Oriente UCO, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Rionegro, Colombia.

3 Ingeniero agrónomo, magister en geomorfología y suelos, docente Universidad Católica de Oriente UCO.

Resumen

El ojo de poeta (*Thunbergia alata*) es una especie vegetal que se convirtió en problema en Colombia, ya que es de difícil control debido a su capacidad de diseminación y dispersión, así como por su efecto sobre otras plantas, a las cuales las cubre hasta limitarles su crecimiento; además, se caracteriza por invadir ecosistemas naturales del Orienteantioqueño. Por lo anterior, se realizó una prueba de eficacia con el fin de evaluar métodos de control que fueran amigables con el medio ambiente y que demanden menos tiempo y mano de obra, teniendo en cuenta que el único método de control que ha presentado resultados efectivos es el manual. En este orden de ideas, se evaluaron cinco (5) tratamientos aplicados en parcelas con alta incidencia de *Thunbergia alata*; dichos tratamientos consistieron en ácido bórico,

ácido fosfórico, manganeso y glifosato, acompañados de un coadyuvante tensoactivo derivado de alcoholes etoxilados (pegal pH) para romper la tensión superficial; también se tuvo un testigo, al cual no se le realizó ninguna aplicación. Las dosis usadas de cada agroinsumo fueron 5 cc/litro (5 gr/litro) combinado con 1 cc/litro del coadyuvante, la variable medida fue el porcentaje el daño causado en las plantas empleando la escala de evaluación de Amaya. Los resultados fueron los siguientes: el glifosato tuvo un porcentaje de daño del 84 %, el ácido fosfórico un 63.42 %, el ácido Bórico tuvo un índice de 52.2 % y, por último, el manganeso tuvo un porcentaje de 12,4 %. El testigo no presentó control (0 %). Finalmente, todas las plantas retoñaron de nuevo entre las semanas ocho (8) y diez (10) después de las aplicaciones.

Abstract

Thunbergia alata (also known as 'ojo de poeta') is a plant species that has become a problem, since it is difficult to control due to its capacity for dissemination and dispersion, and the effect it has on other plants, which it covers to the point of limiting their growth; also, it is characterized by invading natural ecosystems in eastern Antioquia. Therefore, an effectiveness test was conducted to evaluate control methods that were environmentally friendly and also demand less time and labor, considering that the only control method that has shown effective results is the manual one. In this order of ideas, five (5) treatments applied in plots with high incidence of *Thunbergia alata* were evaluated, these treatments consisted of boric acid, phosphoric acid, manganese and glyphosate, accompanied by a surfactant coadjuvant

derived from ethoxylated alcohols (pegal pH) to break the surface tension, and a control, to which no application was made. The doses used were 5 cc/liter of each agro-input + 1 cc/liter of the coadjuvant, the variable measured was the percentage of damage caused in the plants using a modification of the Amaya scale. The results indicated that glyphosate caused 84% damage, phosphoric acid caused 63.42 % damage, boric acid caused 52.2 % damage, and manganese caused 12.4 % damage. The control group showed no damage (0 %). Finally, all the plants sprouted again between week eight (8) and ten (10), after the applications.

Introducción

Thunbergia alata, comúnmente conocido como 'ojo de poeta', presenta flores amarillas llamativas con un centro oscuro o negro en forma de 'ojo', de allí el nombre común que se le tiene en la región. Se trata de una especie vegetal proveniente de África oriental que se ha convertido en invasora, con hábitos de crecimiento en enredadera o bejucos trepadores, que ha venido colonizando bosques nativos, cultivos agrícolas, zonas verdes, setos, mallas y divisiones en diferentes lugares de Colombia, especialmente en el Orienteantioqueño, donde es frecuente en el paisaje. Se trata de una planta polifacética de fácil propagación y adaptación que puede desarrollarse en altitudes a partir de 1500 msnm. Se encuentra también en departamentos como el Tolima, Putumayo; en dichas zonas se ven árboles completamente cubierto o envueltos por esta enredadera, que coloniza tanto áreas abiertas como de cobertura boscosa, dificultando la germinación y proliferación de otras especies (Ossa, 2018).

El ojo de poeta se caracteriza por su fácil propagación e invasión. Esto, Según Quijano (2019), es provocado por varios factores que ayudan a que su proliferación sea más exitosa, entre estos factores está el hecho de que es una planta visitada por amplia diversidad de polinizadores, lo que asegura su éxito para

reproducirse, gracias a la atracción generada en insectos; otro de los factores se debe a que esta plante se reproduce con mucha facilidad mediante semilla sexual; también a través de sus bejucos o porciones de plantas (asexual), en condiciones de baja y alta luminosidad. Por ello es tan alta la dispersión en los bosques, además son altamente permeables; por lo tanto, en 3 horas puede alcanzar una turgencia del 152 %, garantizando así una rápida germinación (Quijano, 2019).

El Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt publicó en el año 2010 el documento llamado "Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia", donde registra el ojo de poeta como una de las especies invasoras con mayor peligro para los ecosistemas nativos colombianos (CORNARE, 2018).

La alcaldía de Medellín, en conjunto con CORNARE en el 2018, realizó una investigación en el parque Arví, reserva natural, donde descubrieron que algunas aromáticas como la yerbabuena y la altamisa podrían inhibir el crecimiento de *Thunbergia alata*, donde posiblemente pueda existir una interacción alelopática. Entre algunas otras labores, los investigadores realizaron erradicación manual. Lo que, a pesar de que se elimina la

planta desde la raíz, resulta muy poco práctico debido a que tarda demasiado y requiere alta mano de obra y, por consiguiente, implica un alto costo económico. Otra de las acciones se dio con la implementación de rastrillos, lo cual presenta limitaciones en algunos lugares. Finalmente, los investigadores usaron tres caprinos que proporcionó el dueño de uno de los predios. Con estos, realizaron ensayos como estrategia de control de las plántulas, con un pastoreo intensivo; con esto fue posible la remoción de la mayoría de las plántulas del área de pastoreo asignada a cada animal, aunque estos animales pueden llegar a consumir todas las plantas, sin discriminar, en un período de tres horas (Alcaldía de Medellín, 2018).

Según el diario El Nuevo Siglo (2020), en un estudio realizado por la Universidad EAFIT en el parque Arví se observó que la propagación de esta planta tiene una particularidad para su dispersión, ya que las semillas se esparcen hasta un diámetro de 12 a 14 metros de la planta, lo cual le permite poblar la zona rápidamente.

Aunque existen diversas investigaciones relacionadas con el comportamiento de la especie, propagación y fisiología, desde el punto de vista de control y manejo, aun son bastante limitadas en el país. Al tratarse de una especie relativamente nueva, de la cual se tiene poca experiencia en su manejo, diferentes entidades como Cornare y Agrosavia, argumentan que la forma más eficaz de erradicación es la manual, extrayéndola desde la raíz y colocándola en

una fosa profunda con suficiente cantidad de cal para evitar su diseminación; así lo demuestran en una campaña iniciada el 27 de Julio de 2019 en 14 municipios del Orienteantioqueño (DiariOriente, 2019), que buscan la sensibilización sobre los riesgos de la especie (Agrosavia, 2019).

Existen algunos estudios, como el realizado por Duran, *et al.* (2012), en el que se encontró que el ácido bórico como ingrediente activo, mezclado con harina, azúcar refinado, grasas y atrayente, se convierte en una mezcla muy eficiente para el control de blátidos, lo cual lo posiciona como una opción de insecticida. Por su parte, el ácido fosfórico ha sido evaluado como fungicida, así lo argumenta Santiago, *et al.* (2017), quienes comprobaron que para el control de *B. Cinerea* en plantas de fresa, el ácido fosfórico presentó resultados favorables, pues la aplicación de este tratamiento inhibió la germinación de conidios. El glifosato, aunque sí se encuentra posicionado como un herbicida de alto espectro, en la literatura no se logra identificar estudios que prueben su acción sobre *Thunbergia alata*, pero sí sobre otras arvenses. Como lo demuestra Ramírez *et al.* (2011), el glifosato aplicado en bajas cantidades ejerce un control eficaz en las arvenses presentes en caña de azúcar; se evidenció, además, que no requiere de dosis muy elevadas para que su acción sea evidente.

Respecto al control a partir de síntesis química, se encuentran algunos tratamientos empíricos no documentados para el control

del ojo de poeta donde aparecen los herbicidas de síntesis química, sin embargo, no se tuvieron resultados efectivos. Por esta razón, se optó por evaluar otras alternativas (las cuales aún no han sido estudiadas para control de *Thnbergia alata*) que en agricultura han sido empleadas como fuentes nutritivas a una dosificación de 0.5 cc/Lt, pero que a dosis superiores causan toxicidad (quemazón) de plantas. Entre estas se encuentra el ácido bórico, también conocido como borato de hidrogeno, ácido ortobórico, acidium boricum y sassolita. Este ácido, además de ser altamente soluble en agua, presenta propiedades antisépticas y puede ser utilizado como insecticida para controlar plagas como chinches de palmetto, insectos de agua, hormiga, lepisma, hormigas carpinteras y termitas (IUPAC, 2018).

Por otra parte, el ácido fosfórico, que posee la fórmula química H_3PO_4 , se presenta como un producto de transformación química que ha sido definido como un metabolito (IUPAC, 2018) y usado también como fertilizante, entre otros usos domésticos y farmacéuticos (CORQUIVEN, 2000).

El glifosato, cuyo nombre químico es sal monoamónica de N- fosfometil glicina, presenta un modo de acción sistémica, su categoría toxicológica es IV y es usado para el control post- emergente de malezas, gramíneas, ciperáceas y de hoja ancha, genera fitotoxicidad sobre cualquier tejido verde que haya tenido con el (Arysta LifeSciense, 2015).

Con respecto al Manganeseo, Salinas (1980) expone que el este fungicida puede volverse un limitante para el crecimiento de las plantas pues puede causar un efecto toxico en suelos con un pH inferior a 5.5, y en suelos que presenten inundación o compactación el exceso del manganeseo también limita el desarrollo de las plantas en pH mayor a 6.0. Por lo anterior esta toxicidad que presenta a diferentes pH puede ser un factor favorable a la hora de controlar el ojo de poeta. Sin embargo, solo se encuentra en la literatura estudios sobre sus efectos como fertilizante y en forma de fosfito de manganeseo como fungicida para el control de *Macrophomina phaseolina* (Elesgaray, 2011).

Por lo anterior, se propuso evaluar el efecto de diferentes alternativas de control sobre la especie *Thunbergia alata*, como lo son el ácido bórico, ácido fosfórico, manganeseo y el glifosato. Se realizó un seguimiento a la respuesta de esta planta después de la aplicación de los tratamientos en el que se midió el porcentaje de daño y efectos en el tiempo.

Metodología

Localización

El trabajo de investigación fue realizado en el Hogar Universitario Santa María, ubicado en la vereda Aguas Claras del Municipio el Carmen de Viboral, el cual es propiedad de la Universidad Católica de Oriente. El lugar se encuentra a 2.150 m.s.n.m., donde el espacio tratado es una delimitación boscosa con una fuente hídrica natural invadida por ojo de poeta.

Tratamientos

Cada especie constituyó un experimento independiente, en los cuales se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cinco (5) tratamientos y cuatro (4) repeticiones cada uno. El tratamiento se realizó en un área de 4 m², subdividida en 4 cuadrantes de 1 m² cada uno.

- **Tratamiento 1:** 5gr/lit de ácido bórico + coadyuvante pegal pH a 1cc/litro.
- **Tratamiento 2:** 5gr/lit de agua de ácido fosfórico + coadyuvante pegal pH a 1cc/litro.
- **Tratamiento 3:** 5gr/lit Manganeseo + coadyuvante pegal pH a 1cc/litro.
- **Tratamiento 4:** 5cc/lit glifosato + coadyuvante pegal pH a 1cc/litro

Área de investigación: cuatro parcelas de 4 m², distribuidas en una área afectada o invadida por la especie, cada parcela subdividida en 4 cuadrantes de 1 m², pobladas con la especie vegetal creciendo de manera natural sobre el suelo, con predominio de esta sobre otras especies. Sobre cada subparcela se aplicó cada tratamiento de manera aleatoria.

Análisis de datos y modelación estadística

Los resultados se evaluaron con modelos no lineales, evaluados bajo el criterio de información Akaike y R²; se construyeron intervalos de confianza del 95%.

Se realizaron análisis de porcentaje de daño y porcentaje de cobertura comparando los tratamientos por medio de gráficos de Hill. Las evaluaciones se realizaron en dos momentos: de la semana 1 a la semana 5; y de la semana 5.1 a la semana 10. Para los análisis se utilizó el programa PAST versión 4.11.

Preparación del terreno

La fecha de inicio de la preparación del terreno fue el 11 de septiembre del 2021. Se erradicaron todas las arvenses que estaban asociados con el ojo de poeta, con la finalidad de que este colonizara toda el área a evaluar. Posteriormente, se dejaron pasar 30 días, con la intención de darle tiempo al ojo de poeta para ocupar el espacio dejado por las arvenses retiradas.

Delimitación de espacios: El 16 de octubre del 2021 se procedió a delimitar los espacios de la siguiente manera:

Se seleccionaron las cuatro parcelas, se midieron con un flexómetro, paradas entre ellas 2 metros de franja de seguridad para evitar traslapes, se demarcó el área de investigación. A su vez cada parcela se subdividió en 4 cuadrantes de 1 m², cada una se marcó con trozos de madera por las esquinas y cada uno se marcó con cinta de color, para identificar los tratamientos, además, se dividió cada tratamiento con pantallas de polietileno o lona de fibra, para evitar la deriva y traslape de los mismos.

El 27 de diciembre del 2021 se inició la aplicación de los insumos, cabe señalar que antes de la aplicación se realizó la calibración del equipo de aspersión para garantizar la descarga adecuada en cada aplicación.

Aplicación de los tratamientos

Los tratamientos se aplicaron mediante aspersión foliar (fumigaciones foliares) con bomba espaldera. Para evitar traslapes, esta se lavaba tres veces (triple lavado) con agua y detergente entre cada aplicación y cambio de tratamiento.

Métodos de evaluación del efecto de los tratamientos

Para determinar el porcentaje de control o daño (PD), se hizo seguimiento y cuantificación cada siete (7) días, durante 100 días o 12 semanas. Para cuantificar o determinar el efecto se empleó la escala de Amaya, que mide los grados de afectación de la siguiente manera:

Tabla 1

Escala de Amaya, método para evaluar el porcentaje de daño

TIPO DE DAÑO	% DE DAÑO	SIGNOS Y SINTOMAS DE DAÑO	Valor total ingredientes
Leve	(1-30%)	Amarillamiento en hojas de las plantas	2.025
Moderado	(31-50%)	Marchitez y amarillamiento en hojas y flores	650
Severo	(51-80%)	Marchitez, amarillamiento e inicio de necrosis generalizado en las plantas	575
Muy severo hasta muerte total	(81-100%)	Necrosis total de tejidos	1.250

Nota. Modificación de la escala de Amaya (1987), citado en (Hernández et al; 2005).

Resultados y discusiones

A continuación, se presentan una serie de gráficas donde se relaciona de manera

detallada el comportamiento de cada uno de los tratamientos, así mismo son una herramienta para la obtención de conclusiones.

Gráfica 1

Promedio de daños alcanzados por cada tratamiento



Nota. Elaboración propia.

Durante doce (12) semanas del tratamiento (Gráfica 1) se observó que los controles ejercidos por cada tratamiento se manifestaron en diferentes intervalos de tiempo. Las revisiones fueron realizadas de forma semanal; se observó que, a nivel general, en los tratamientos se evidencia un control que va creciendo de manera exponencial desde la semana cuatro (4). Sin embargo, en

la semana ocho (8) se presentó un control un poco más estable entre los tratamientos, donde el mayor daño fue generado por el T4 correspondiente al glifosato, le siguen el T1 correspondiente al ácido bórico, el T2 con ácido fosfórico y, finalmente, el T3 correspondiente al Manganeseo, siendo este último el tratamiento con menor efecto en cuanto a daño.

Tabla 2

Comparación de las variables AIC, R2, a, b y c, en cada tratamiento, semana 1 hasta semana 5

Semana 1 a la 5					
Tratamiento	AIC	R2	a (Máximo daño)	b (Semana)	c (Velocidad de Crecimiento)
A. Bórico	1787	0.7843	5.2239(-8,49E04, 73,59)	3.4247 (-92,95, 384)	-60.621 (-10,18, 76)
A. Fosfórico	1379	0.8317	7.1317(-5,445E04, 130,5)	4.2858(-30,96,5,274)	-60.139(-63,89,7,198)
Glifosato	1787	0.7843	5.2239(-8,1E04, 69,6)	3.4247(-82,37,3,838)	-60.621(-10,09,76,04)
Manganeseo	129.9	7168	1.1307(-1,303E05,18,66)	3.3652(-1,47E04,3,687)	-14.644(-92,12,61,87)

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3

Comparación de las variables AIC, R2, a, b y c, en cada tratamiento, semana 1 hasta semana 10

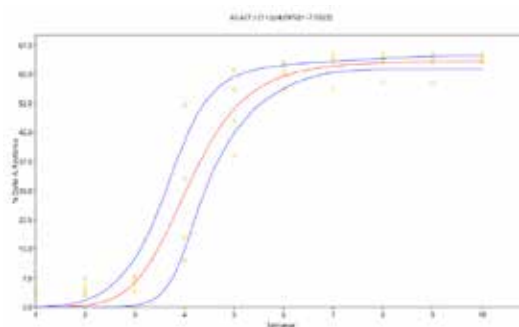
Semana 1 a la 10					
Tratamiento	AIC	R2	a (Máximo daño)	b (Semana)	c (Velocidad de Crecimiento)
A. Bórico	2133,4	0.8932	56.275 (51.61,59,15)	3.5415 (2.891,3.851)	-5.24.08 (-75.136,0.1021)
A. Fosfórico	1524,2	0,9439	63,427 (61,63,65,72)	4,0976 (3.712,4.563)	-7,0323 (-8,856,-0.2232)
Glifosato	4291,5	0.8985	83.964 (74.19,89.2)	4.1552 (3.325,4.683)	-4.3449 (-5.755,-0.364)
Manganeso	226,11	0.7808	12.454 (9,016,13,31)	3,4887 (2.615,3.986)	-11,148 (-20,35,67,03)

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 3, se logra evidenciar que el glifosato, alcanzó el máximo daño de las en la semana 4 a 7, llegando al 84% de daño. Asimismo, presentó una velocidad de crecimiento de -4.34, demostrando así que fue el tratamiento que empezó a generar efectos de daño con mayor rapidez en las plantas. En el caso del ácido fosfórico se observan resultados similares en el intervalo de daño; el periodo donde se presentó el daño máximo fue entre las semanas 3.7 y 4.5, algo parecido al glifosato. Sin embargo, el resultado de porcentaje de daño varia un poco, teniendo en cuenta que el ácido fosfórico tuvo un pico de 63.42% es decir que el glifosato presenta un 20 % de daño en las plantas mayor al ácido fosfórico.

Gráfica 2

Resultados de la semana 1 a la 10 del porcentaje de daño causado por el Ácido Fosfórico

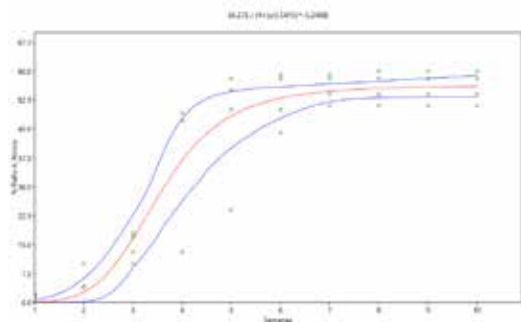


Nota. Los resultados se evaluaron con modelos no lineales, evaluados bajo el criterio de información Akaike y R2.

En la gráfica 2 se observa el comportamiento del tratamiento con ácido fosfórico. Durante las diez (10) semanas de evaluación, se identificó que durante la semana 4.02 tuvo el daño máximo de todo el periodo evaluado el cual fue de 63,42%, evidenciando que este es el segundo tratamiento con mayor porcentaje de daño, detrás del glifosato que como se evidencia en la gráfica 5 el porcentaje de daño fue de un 84%.

Gráfica 3

Porcentaje de daño alcanzado por el Ácido Bórico, entre la semana 1 a la 10.

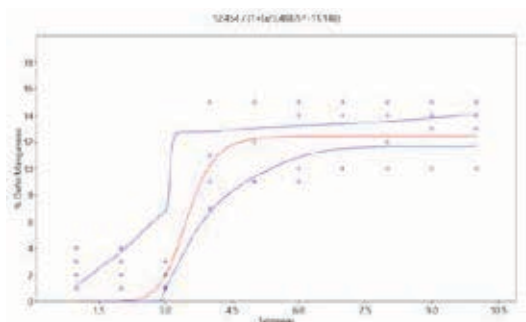


Nota. Los resultados se evaluaron con modelos no lineales, evaluados bajo el criterio de información Akaike y R2.

El Ácido bórico obtuvo, en la semana 3.5, un porcentaje de daño máximo del 56.275 %, postulándose como uno de los tratamientos que alcanzaron un daño considerable sobre las plantas tratadas, es decir que, de acuerdo con lo analizado en las demás gráficas, se identifica que el ácido bórico es el tercer tratamiento cuyo daño fue superior del 50 % detrás de el Glifosato y el ácido fosfórico.

Gráfica 4

Porcentaje de daño del manganeso, evaluado de la semana uno a la 10

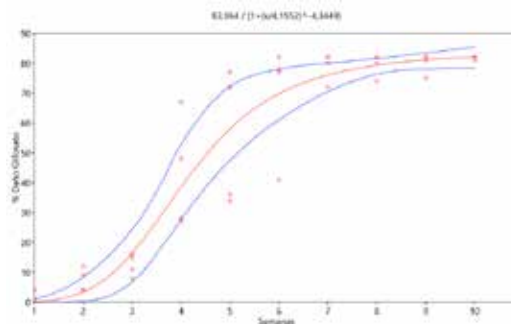


Nota. Los resultados se evaluaron con modelos no lineales, evaluados bajo el criterio de información Akaike y R2.

En esta gráfica se evidencia que el daño máximo de este tratamiento se alcanzó en la semana 3.5 con un porcentaje de 12,454 %, representando el porcentaje de daño más bajo de todos los tratamientos.

Gráfica 5

Porcentaje de daño alcanzado por el Glifosato, de la semana 1 a la diez



Nota. Los resultados se evaluaron con modelos no lineales, evaluados bajo el criterio de información Akaike y R2.

El daño máximo alcanzado por el Glifosato, entre la semana 1 a la 10, fue del 84 %. En la semana 4,15 se estabiliza hasta llegar a la semana 10, donde se empieza a perder su efecto. Este tratamiento obtuvo el porcentaje de daño más elevado de todos los tratamientos, sin embargo, no ejerció un control definitivo sobre el ojo de poeta.

Tabla 4

Análisis de varianza de cada tratamiento y general

Anova		
Semana	Tratamiento	P-Value
5-10	Manganeso	0,00318
5-10	Glifosato	1,046-6
5-10	Ácido Fosfórico	7,449-10
5-10	Ácido Bórico	5,468-8
5-10	Todos los tratamientos	3,536-7

Nota. Los resultados se evaluaron con modelos no lineales, evaluados bajo el criterio de información Akaike y R2

En esta tabla se puede observar que el tratamiento evaluado de la semana 5 a la 10, con mayor diferencia, fue el ácido fosfórico, con un p-valué de 7,449-10,; le siguen el ácido bórico con un p-value de 5,468-8 y el glifosato con un p-value de 1,046-6. En el caso del Manganeso, se puede evidenciar que es el tratamiento con menor diferencia significativa, con un p-value de 0,00318.

Respecto al resultado obtenido sobre la aplicación del manganeso y la baja eficacia

para causar daño, se logra inferir que esta acción tiene relación con lo que plantea Salinas (1980), donde argumenta que este ingrediente genera toxicidad en un rango de pH de suelo tan solo entre 5.5 y 6.0, esto sugiere que el pH del suelo donde se desarrolló la investigación no estaba en el rango óptimo para mostrar una respuesta efectiva a esta aplicación.

Conclusiones

Según los resultados obtenidos, se logra concluir que el tratamiento que generó mayor daño en las plantas de *Thunbergia alata* fue el glifosato, con un daño máximo del 84%, sin embargo, esta empezó a rebrotar o retoñar después de los 60 días. En segundo lugar, se encuentra el ácido fosfórico con un máximo porcentaje de daño de 63,4% que no es perdurable en el tiempo, ya que empezó a rebrotar antes de 60 días.

En tercer lugar, se encuentra el ácido bórico con un 56.4% y su efecto duró menos de 60 días. Por otra parte, los tratamientos con el menor resultado fueron el quelato de manganeso, con 12,5% y el testigo sin aplicaciones que nunca tuvo efectos de daño durante estas semanas de evaluación.

El ensayo permitió encontrar que el glifosato y ácido fosfórico presentaron un control del ojo de poeta superior al 50%, pero el efecto se pasó después de los 60 días, por consiguiente, después de este tiempo se debe repetir el control o acudir a otro método diferente.

Para el control o manejo de *Thunbergia alata* (ojo de poeta), se pueden emplear el ácido fosfórico y ácido bórico. Aunque no alcanzan el 84% del control del herbicida químico, son fuentes nutritivas que ofrecen alternativas amigables con el medio ambiente que pueden controlar más del 50% en una aplicación foliar. Como posible tratamiento para el control del ojo de poeta, se podrían emplear el ácido fosfórico y ácido bórico, teniendo en cuenta que sus efectos duran de 8 a 10 semanas máximo, es decir que se pueden repetir cada dos meses; su valor o diferencial radican en que no son moléculas de síntesis química, por tanto, no generen altos riesgos para los ecosistemas, ya que se tratan de fuente nutricionales.

Se recomienda realizar pruebas con mezclas de ácido fosfórico + ácido bórico, para evaluar su efecto en esta especie y en otras plantas no deseadas, eventualmente modificándoles las dosis y proporciones.

La erradicación manual sigue siendo la más efectiva, aunque por costos y escasez de mano obra, no suele ser muy eficiente.

Bibliografía

- Sánchez, N. (9 de agosto de 2019). Póngale atención al ojo de poeta, especie bonita pero peligrosa. AGROSAVIA. <https://www.agrosavia.co/noticias/p%C3%B3ngale-atenci%C3%B3n-al-ojo-de-poeta-especie-bonita-pero-peligrosa>
- Alcaldía de Medellín (2018). Desarrollar acciones que permitan la preservación ambiental de la reserva forestal protectora del río Nare y el fortalecimiento del parque central de Antioquia, pp. 14-18.
- Arysta LifeScience (2015). Ficha técnica ROUNDUP FG. Monsanto Company. Recuperado de https://cl-test.upl-ltd.com/download_links/leZEIEUo9N-ZOBt52L8SH7mPq93jDjb7lyI5fJUzO.pdf
- Corporación Química Venezolana (2000, octubre 14). Hoja de seguridad (MSDS) ácido fosfórico. CORQUIVEN. <http://www.regenciaquimica.ucr.ac.cr/sites/default/files/Acido%20fosf%C3%B3rico.pdf>
- Oriéntese (2018, marzo 5). Cornare toma medidas contra especie invasora «ojo de poeta». *Oriéntese*. <http://orientese.co/cornare-toma-medidas-especie-invasora-ojo-poeta/>
- DiariOriente(2019, julio 8). Medidas para controlar la especie invasora ojo de poeta, una flor bella pero danina. *DiariOriente*. <http://diarioriente.com/altiplano/medidas-para-controlar-la-especie-invasora-ojo-de-poeta-una-flor-bella-pero-danina.html>
- Elesgaray, A. M. (2011). *Efectos del glifosato y del fosfito de manganeso sobre la biología de Macrophomina phaseolina* (Trabajo de pregrado). Universidad de Buenos Aires.
- El Nuevo Siglo (2020, agosto 25). Ojo de Poeta, especie invasora y peligrosa para la biodiversidad. *El Nuevo Siglo*. <https://www.elnuevosiglo.com.co/ambiente-y-ciencia/ojo-de-poeta-especie-invasora-y-peligrosa-para-biodiversidad>
-

- Amaya, H. (1987). Selectividad del herbicida Galant 75 en el cultivo de arroz en Colombia. *Biokemia* 39, 16-24.
- IUPAC (2018, octubre 31). Boric Acid. *International Union of Pure and Applied Chemistry*. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/2136.htm>
- Ossa, G. (2018). Ojo de poeta: la planta que asfixia el bosque en Antioquia. *El Tiempo*.
- Quijano, M. (2019). *Historia, vida y poderes de una especie invasora: Estrategia para su control y manejo* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Oriente
- Salinas, J. (1980). Adaptación de plantas a toxicidad del aluminio y manganeso en suelos ácidos. CIAT Biblioteca, 11-12.
- Tasistro, A. (2000). Métodos para evaluar efectividad en el control de malezas. *Revista Mexicana de la Ciencia de la Maleza*, 25-35
-

Productividad del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum*): comparación de tres productos experimentales y una línea comercial de NPK en el norte de Antioquia

*Productivity of kikuyo grass (*Cenchrus clandestinum*): comparison of three experimental products and a commercial line of npk in northern Antioquia*

**Alejandro Arias Giraldo¹, Sebastián Montoya Uribe²,
Carlos Leonardo Guerra³**

1 Semillero Ruminaceae. Estudiante de pregrado en Zootecnia Universidad Católica de Oriente(correo-e: alej0-a@hotmail.com)

2 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente(correo-e: smontoya@uco.edu.co). <https://orcid.org/0009-0007-1313-2319>

3 Docente investigador. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Grupo de investigación en agronomía y zootecnia GIAZ. Universidad Católica de Oriente. Correo: cguerra@uco.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9657-6359>

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta productiva del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) bajo diferentes prototipos de fertilizantes en un sistema de producción ganadera de leche en el norte de Antioquia, Colombia. Se reconoce la importancia de la fertilización adecuada en el crecimiento y rendimiento de las pasturas, especialmente en suelos ácidos y de baja fertilidad. La investigación se llevó a cabo en la finca La Granja, perteneciente a la cooperativa Colanta a partir de dos métodos de evaluación de la oferta de forraje verde: el aforo y el platómetro. Se establecieron seis tratamientos que consistieron en tres prototipos de fertilizantes con diferentes concentraciones de NPK y dos dosificaciones. Se realizaron tres pastoreos cada 35 días y se estimó la producción de forraje. Los resultados mostraron diferencias significativas

entre los métodos de estimación de la oferta de forraje verde; con el aforo se estimó una oferta superior en comparación con el platómetro. Se encontró que la dosificación de 161 kg/Ha de fertilizante fue suficiente para lograr los mejores resultados en términos de productividad del pasto por metro cuadrado y no se observaron beneficios adicionales al aumentar la dosificación a 200 kg/Ha. Además, se encontraron diferencias significativas entre los prototipos de fertilizantes, siendo el fertilizante NPK de 34-5-4 el que mostró los mejores resultados en comparación con los otros dos prototipos. Estos hallazgos indican la importancia de la fertilización adecuada en la productividad del pasto Kikuyo y resalta la necesidad de ajustar las dosis y concentraciones de los fertilizantes utilizados en función de las condiciones específicas de cada finca.

Palabras clave

Fertilización, Ganadería, Biomasa, Aforo, Parcela.

Abstract

The present study aimed to evaluate the productive response of Kikuyo grass (*Cenchrus clandestinus*) under different fertilizer prototypes in a dairy cattle production system in northern Antioquia, Colombia. The importance of adequate fertilization in pasture growth and yield, especially in acid and low-fertility soils, is recognized. The research was conducted at La Granja farm, belonging to the Colanta cooperative, and two methods were used to evaluate green forage supply: yield and platometer. Six treatments were established consisting of three fertilizer prototypes with different NPK concentrations and dosages. Three grazing were carried out every 35 days and forage production was estimated. The results showed significant differences between the methods of estimating green forage supply, with the yield estimating a higher supply compared to

the platometer. It was found that the 161 kg/Ha fertilizer dosage was sufficient to achieve the best results in terms of grass productivity per square meter, and no additional benefits were observed when increasing the dosage to 200 kg/Ha. Furthermore, significant differences were found among the fertilizer prototypes, with the 34-5-4 NPK fertilizer showing the best results compared to the other two prototypes. These findings indicate the importance of adequate fertilization in the productivity of Kikuyo grass and highlight the need to adjust the doses and concentrations of fertilizers used according to the specific conditions of each farm.

Keywords

Fertilization, Livestock, Biomass, Yield, Plot.

Introducción

La industria lechera es una actividad económica que requiere la integración de recursos tales como tierra, animales, mano de obra y tecnología, con el objetivo de producir litros de leche para su comercialización y obtención de ganancias (Herrera, 2011). En este contexto, es crucial el manejo adecuado de los cultivos forrajeros, como la rotación de praderas, la fertilización y el riego, para garantizar la producción eficiente y de calidad de la leche (Guerrero, 1998; Echeverri *et al.*, 2010; Ramírez, 2013).

El norte de Antioquia se destaca como una región altamente productora de leche, donde se generan aproximadamente 2.8 millones de litros por día provenientes de 9 364 granjas con alrededor de 334 000 vacas en edad productiva (DANE, 2013). Esta región cuenta con sistemas de producción especializados y capacidad de procesamiento de la leche (Ramírez, 2013). Sin embargo, para mantener este sistema productivo, se han realizado esfuerzos para mejorar las pasturas, adaptándolas a las condiciones climáticas locales. Respecto a lo anterior, una de las especies más adecuadas para el trópico alto colombiano es el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*

Hochst. Ex Chiov), aunque su desarrollo está estrechamente ligado a la aplicación de fertilizantes (Mila & Corredor, 2004).

Estudios anteriores realizados por Bernal (1998) han señalado que un manejo deficiente del pasto kikuyo puede conducir a su acolchonamiento y a una disminución significativa en su producción a lo largo del tiempo, afectando la capacidad de soporte animal por unidad de área. Sin embargo, se ha demostrado que el pasto kikuyo responde positivamente a la fertilización química y orgánica (Silva *et al.*, 2006; Segura & Rojas, 2008), evidenciando que la fertilización nitrogenada y otros elementos como el fósforo y el azufre son fundamentales para mantener su rendimiento en las pasturas.

Actualmente, la síntesis de fertilizantes químicos se ha visto afectada debido al conflicto armado entre Rusia y Ucrania (principales productores de estos insumos), lo que ha reducido la oferta en el mercado y ha ocasionado un incremento del 30 % en su precio (FAO, 2022; El Colombiano, 2022). Además, los tratados de libre comercio han generado desafíos para los pequeños y medianos productores de lácteos en Colombia, ya que el consumo per cápita

se ha mantenido en un rango de 130 a 150 litros de leche por persona al año (FEDEGAN, 2017). Paralelamente, se ha observado un aumento en la importación de lactosueros y leche en polvo, lo que disminuye la demanda de los lácteos de origen colombiano y afecta negativamente a los productores, reduciendo sus ingresos en un 16 %, y afectando aproximadamente al 70 % de la producción campesina (Garay *et al.*, 2010; El Espectador, 2012; Calderón, 2013). Estas circunstancias exigen a los productores buscar estrategias que mejoren la eficiencia en el uso de insumos dentro de la industria láctea, con el objetivo de reducir los costos de producción y aumentar su competitividad frente a las industrias lácteas de otros países.

Una de las principales limitaciones que enfrentan los productores es la baja productividad de las pasturas naturalizadas que se han establecido en suelos ácidos y con baja fertilidad natural (Sánchez, 2004). La falta de buenas prácticas de manejo en el pastoreo y una fertilización inadecuada en NPK – nitrógeno, fósforo y potasio–, principalmente, afectan la calidad y cantidad de forraje disponible para el ganado (Hernández, 2004), lo que resulta en una disminución en la producción de leche y, por consiguiente, en la rentabilidad de los productores. A pesar de la existencia de diversas alternativas de fertilización, muchos productores desconocen su importancia o no cuentan con los recursos necesarios para implementarlas, lo que agrava el problema. Por lo tanto, es necesario

explorar estrategias de fertilización efectivas que permitan mejorar la productividad de las pasturas, la sostenibilidad y la rentabilidad de la actividad ganadera en la región.

La calidad de las pasturas es fundamental para garantizar una buena producción en los sistemas ganaderos (Correa *et al.*, 2009), ya que influye directamente en el rendimiento y la salud del ganado (Bargo *et al.*, 2003). Los fertilizantes desempeñan un papel crucial en la mejora de la calidad y cantidad de forraje, lo que a su vez aumenta el rendimiento de la producción ganadera. Es esencial implementar prácticas de manejo y fertilización adecuadas para satisfacer los requerimientos nutricionales del pasto y ofrecer una ración con alto valor dietético.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una evaluación comparativa de tres prototipos de fertilizantes que varían en sus niveles de NPK, con el fin de determinar cuál de ellos ofrece mayores beneficios y garantías para los productores. La información obtenida será de gran utilidad tanto para los productores ganaderos al momento de tomar decisiones sobre el tipo de fertilizante y la dosificación a utilizar en su producción, como para los comercializadores de estos insumos, quienes buscan satisfacer las necesidades del productor.

Objetivo general

Evaluar la respuesta productiva del pasto *Cenchrus clandestinus* bajo tres prototipos

de fertilizantes comerciales en un sistema de producción ganadera de leche especializada en el trópico alto antioqueño.

Objetivos específicos

- Evaluar la cantidad de forraje en un sistema de producción ganadera de leche especializada en el trópico alto antioqueño utilizando dos métodos de aforo, y estimar la concordancia entre dichos métodos mediante el cálculo de la razón de verosimilitud.
- Comparar las dosis utilizadas frecuentemente en la fertilización del pasto *Cenchrus clandestinus*, según las recomendaciones de las casas comerciales y las de algunos productores, en una ganadería de leche especializada en el trópico alto antioqueño.
- Revelar las interacciones que se pueden presentar entre la aplicación de la concentración y la dosis de tres fertilizantes en el pasto *Cenchrus clandestinus* en un sistema de producción ganadera de leche especializada en el trópico alto antioqueño.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se realizó en la finca La Granja, propiedad de la cooperativa Colanta, localizada en el municipio de San Pedro de los Milagros (Antioquia, Colombia) con coordenadas 6° 27' N, 75° 33' O y a una

altitud de 2 500 msnm. La temperatura promedio es de 14.2 °C y la humedad relativa es de 72 %, la precipitación anual de 2923 mm y la topografía de plana a ondulada. La finca pertenece a una zona de vida de 'bosque húmedo montano bajo' (bh-MB) de acuerdo con la clasificación de Holdridge (1967). La especie forrajera dominante de las praderas es el pasto kikuyo y los programas de fertilización se basan en la aplicación de productos químicos.

Procedimientos generales

Se utilizó un potrero establecido con pasto kikuyo en el que se hizo la distribución de seis tratamientos en parcelas de 15.1 x 15.1 m (227,84 m²), con un área efectiva de 56.95 m². Las parcelas se sometieron a un manejo previo de corte, homogenización y aplicación correspondiente a su tratamiento asignado y se realizaron 3 pastoreos cada 35 días empleando animales a una carga constante. Después de la salida de los animales, se realizó nuevamente la aplicación del tratamiento. Previo a la entrada de los semovientes se estimó la producción de forraje empleando la técnica del "método del rendimiento comparativo" (Haydock & Shaw, 1975) y la técnica de discos, o placas, propuesta por Bransby *et al.* (1977)

Aforo: técnica descrita por Haydock y Shaw (1975). Consiste en establecer un conjunto de parcelas de referencia que representan los diferentes rangos de variación en la biomasa del pasto.

A estas parcelas se les cosecha, seca y registra la biomasa, lo que se utiliza para asignar una puntuación a cada parcela de calibración. La puntuación de menor numeración representa la menor biomasa, mientras que la puntuación más alta representa la mayor biomasa, los valores intermedios se asignan en función de su comparación con los dos extremos. Luego son seleccionadas tres (3) parcelas de calibración, o visuales, por cada parcela de referencia, que también son cosechadas, secadas, pesadas y registradas como biomasa de las visuales; con la ayuda de una ecuación de regresión lineal se relaciona la biomasa de las parcelas de calibración y la biomasa de las parcelas de referencia, convirtiendo el puntaje asignado visualmente y obteniendo un estimativo de la biomasa de las parcelas en estudio.

Platómetro: la metodología del platómetro descrita por Bransby *et al.* (1977), se basa en la estimación de la biomasa acudiendo a la correlación positiva con la altura del dosel incorporando una dimensión de área a la medida.

Tratamientos

Los tratamientos fueron asignados teniendo en cuenta dos factores. El primero concebido como tres prototipos comerciales de fertilizantes de NPK con variación en dos niveles de dosificación:

f0: Suministro de fertilizante Ferticrop con una concentración NPK de 28-5-0.

f1: Suministro de fertilizante con una concentración NPK de 31-8-8.

f4: Suministro de fertilizante con una concentración NPK de 34-5-4.

El segundo es la dosificación de los prototipos en dos cantidades por hectáreas diferentes, acudiendo a las recomendaciones hechas por los proveedores de los prototipos y por trabajos en campo realizados por la cooperativa Colanta:

D1: 161 kg/Ha

D2: 200 kg/Ha

Análisis estadístico

Se empleó un modelo factorial 3x2, utilizando el tiempo como factor de bloqueo y los tratamientos como la combinación de las concentraciones de NPK y las dosis por hectárea, tratándolos como efectos fijos. Para analizar las diversas variables dependientes relacionadas con la producción de forraje, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey. Además, se evaluó la normalidad y homocedasticidad de los residuos mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Todos los análisis se llevaron a cabo utilizando el software R (R Core Team, 2022). Por último, se llevó a cabo una comparación entre la estimación de

la oferta forrajera obtenida mediante el aforo y la obtenida a través del platómetro mediante un ANOVA. Además, se aplicó el análisis del 'cuadrado medio del error de predicción' (CMEP) como una medida de evaluación de la verosimilitud de los resultados.

Resultados y discusión

El análisis de varianza entre las dos metodologías de estimación de la 'oferta de forraje verde' (OFV) presentó diferencias estadísticas, indicando que la metodología

del aforo estima una oferta superior en 0.3 kg de FV /m² en comparación con la predicción hecha por el platómetro. El r² obtenido de la regresión encontrada entre el estimado de OFV por el aforo y el encontrado con el platómetro fue bajo (Figura 1) y el CMEP fue alto (Tabla 1). Esto sugiere un enfoque diferente en la heurística de las metodologías, pero podrían tomarse como mutuamente complementarias para un rango de valores de máximos y mínimos en la oferta forrajera en pastoreo, con baja inversión y con aplicabilidad en campo si se cuenta con técnicos capacitados.

Tabla 1

Oferta de Forraje Verde (OFV; kg/m²) y comparación de la estimación del OFV utilizando técnica de aforos Haydock & Shaw (1975) y el platómetro de Bransby (1977)

Estimador		Promedio ± D.E.						
Haydock y Shaw		1.80 ± 0.626						
Bransby		1.50 ± 0.328						
EEM		0.2501						
P_value		0.0303						
CMEP								
Ecuación	R ²	CMEP (kg/m ²) ²	Medio	Lineal	Aleatorio	EMP (kg/m ²)	ERP (%)	Dif. (kg/m ²)
Bransby	0.3098	0.436	0.09	0.0757	0.2707	0.660	36.71 %	0.3

Nota. EEM: Error Estándar de la Media; P_value: Valor de p; CMEP: Cuadrado Medio de error de Predicción (Medio, Lineal, Aleatorio); EMP: Error Medio de Predicción; ERP: Error Relativo Promedio; Dif: Diferencia.

En un estudio realizado por Castro *et al.* (2011), donde se determina el mejor método indirecto para estimar el rendimiento del forraje en cinco asociaciones de dos gramíneas y una leguminosa (sembrada en diferentes proporciones), se encontró una diferencia significativa entre el rendimiento promedio anual con el método del platómetro, en

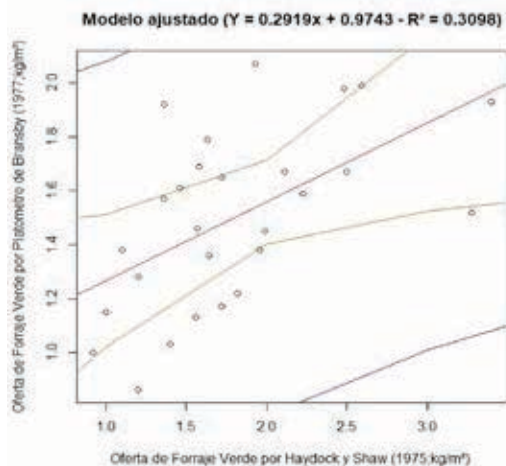
este caso, superando en un 24 % al método de Haydock y Shaw, algo muy diferente al presente trabajo, que mostró una diferencia significativa. En este caso, la técnica de Haydock y Shaw presenta un rendimiento superior del 21 % en comparación con el platómetro. Aunque los autores indican que los resultados dependen en gran medida de la época del año,

también es importante resaltar que la relación existente entre la altura y la biomasa producida por una gramínea no mantiene la misma proporcionalidad con las leguminosas.

Según Velazco *et al.* (2001), además de que los resultados pueden variar según la época del año, también se debe tener en cuenta el estado reproductivo que tienen las especies establecidas en las áreas de producción. Otro aspecto importante, es que el método de Haydock y Shaw presenta en sus mediciones observaciones subjetivas, por ende, también se debe tener en cuenta el grado de observación que presenta la persona que realiza el aforo.

Figura 1

Ecuaciones de regresión entre la Oferta de forraje verde estimado con Haydock & Shaw (1975) y la Metodología del platómetro descrita por Bransby *et al.* (1977).



Nota. El R2 bajo indica una correlación moderada entre los métodos, sugiriendo que otros factores no modelados podrían influir en las mediciones de la Oferta de Forraje Verde.

Al realizar el análisis de varianza correspondiente para cada metodología, se encontró significancia estadística únicamente en el método del aforo para el factor de la dosificación (P-valor = 0.000116), mientras que en la metodología del platómetro no se encontró significancia (P-valor = 0.3814; ver Anexo 1). La dosis de 161 kg/Ha (d1) versus la dosis de 200 kg/Ha (d2) reflejó una diferencia significativa en promedio de 0.373 kg/m² entre la d1 y d2, lo que aproximadamente corresponde a que d1 es suficiente para producir 3.72 ton/Ha más que la d2 en las condiciones actuales que presenta el sistema productivo, por lo tanto, no es necesario aplicar una dosis más alta. A pesar de la creencia que tienen los productores de la zona, según los datos estadísticos, se está utilizando una cantidad excesiva de fertilizante en un área que no lo requiere, lo que genera mayores costos de producción.

En un estudio realizado por Mejía *et al.* (2014), donde se evaluó el efecto de diferentes dosis de fertilizante NPK compuesto en la calidad del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst ex Chiov), se encontró que hay diferencia significativa en la producción de forraje verde cuando se aplica una dosis de 250 kg/Ha respecto a un tratamiento testigo donde no hay aplicación, superándolo en 167 %. Comparando los datos con el presente estudio, se pudo comprobar que la aplicación de fertilizante NPK es necesaria para el adecuado crecimiento del forraje verde. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el

exceso de fertilización puede tener un impacto negativo en la producción. Por lo tanto, se recomienda realizar la aplicación de acuerdo con el análisis de suelo específico de la finca y seguir las recomendaciones proporcionadas por los técnicos capacitados. Aunque en otros estudios (realizados por Builes & Gómez en 2004), se encontró que una aplicación de fertilizante NPK en los potreros no se produce diferencia significativa frente al tratamiento testigo que no presentaba aplicación.

Tabla 2

Oferta de Forraje Verde (kg/m²; medias y desviaciones estándar)

Dosis	Fertilizante	Media ± sd
d1	f0	1.953 ± 0.198
d2	f0	1.543 ± 0.139
d1	f1	2.007 ± 0.197
d2	f1	1.647 ± 0.139
d1	f4	2.8 ± 0.197
d2	f4	1.548 ± 0.139

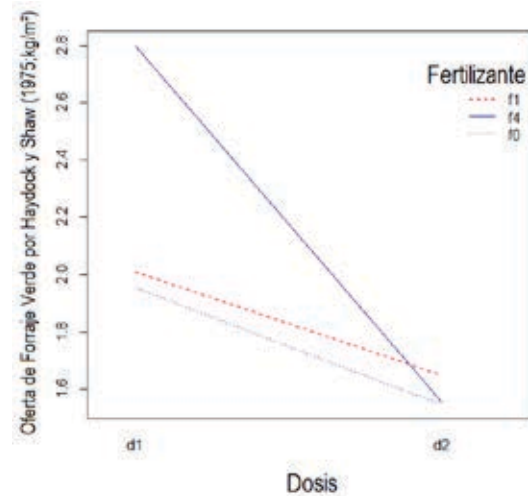
Nota. Medias y desviaciones estándar (sd) de la Oferta de Forraje Verde en kg/m² para diferentes dosis (d1, d2) y fertilizantes (f0, f1, f4).

Además, en el análisis de varianza realizado con el método del aforo, se observó significancia en la interacción entre la dosis y el fertilizante (P-valor = 0.028828; ver Anexo 1). En la Figura 2, se puede observar las interacciones que hay entre las dosis y las concentraciones de los fertilizantes,

notándose que existe una diferencia significativa en la relación entre d1 y d2 con el tratamiento f4, como lo muestra la gráfica, siendo diferente la trayectoria de esta línea a la de las demás, d1 y d2 con f0 y f1.

Figura 2

Evaluación de la interacción entre la dosis y la concentración de los fertilizantes.



Nota. Nivel de significancia de la prueba ($\alpha = 0,05$).

Con el contraste realizado por el efecto simple de la dosificación en los tratamientos, se puede observar que solo existe una diferencia estadística significativa entre d1 y d2 en el fertilizante f4 de concentraciones en NPK de 34-5-4 (Tabla 3).

Tabla 3

Contrastes de los efectos simples por dosificación.

Contraste	Diferencia	G. L	Sum de Sq	F	P_valor	Significancia
d1-d2	f0 0.41	1	0.3362	2.8792	0.1061	
d1-d2	f1 0.36	1	0.2592	2.2198	0.1527	
d1-d2	f4 1.2517	1	3.1333	26.8337	5.33E-05	***
Residuales		19	2.2186			

Nota. Contrastes entre dosis (d1-d2) para cada fertilizante (f0, f1, f4). Nivel de significancia de la prueba ($\alpha = 0,05$).

Al analizar los efectos simples de los diferentes fertilizantes, se observó significancia en los contrastes del fertilizante f4 en comparación con los otros prototipos. Estos resultados

indican que al utilizar la dosificación d1 con 161 kg/Ha se logran los mejores resultados en términos de productividad del pasto por metro cuadrado (Tabla 4).

Tabla 4

Contrastes significativos de los efectos simples por fertilizante.

Contraste	Diferencia	P_valor	Significancia	Límite Inferior	Límite Superior
d1:f0-d1:f4	-0.8466667	0.0068	**	-1.4306389	-0.2626944
d1:f1-d1:f4	-0.7933333	0.0104	*	-1.37730557	-0.2093611
d1:f4-d2:f0	1.2566667	0.0001	***	0.75093187	1.7624015
d1:f4-d2:f1	1.15333333	0.0001	***	0.64759854	1.6590681
d1:f4-d2:f4	1.25166667	0.0001	***	0.74593187	1.7574015

Nota. Tabla de contrastes completa se adjunta en el anexo 3.

En un estudio realizado por Zuluaga *et al.* (2010), donde evaluaron los parámetros productivos y agronómicos del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst ex Chiov) bajo dos metodologías de fertilización, los resultados que obtuvieron son muy similares

a los resultados de la presente investigación. En ese sentido, se coincide en que, en todos los casos evaluados, la cantidad y calidad del forraje producido no dependió del tipo de fertilizante utilizado ni de las proporciones de fertilizante químico y orgánico, sino del

ambiente y del manejo. En otro estudio realizado por Silva *et al.* (2010) se encontraron resultados contradictorios, pues se determinó que la producción de forraje verde y materia seca mostró diferencia altamente significativa entre las concentraciones utilizadas, pero no entre la época o periodo de evaluación, ni en la interacción fuente-época. Sin embargo, se hallaron diferencias en el contenido de proteína para la interacción fuente-época. En comparación con el presente trabajo, estas interacciones pueden facilitar la toma de decisiones y establecer una dosis y una concentración más adecuada.

Conclusiones

Los métodos de aforo utilizados en este estudio demostraron diferencias estadísticas significativas en la estimación de la Oferta de Forraje Verde (OFV) en comparación con el método del platómetro. Específicamente, el método de aforo estimó una oferta superior en 0.3 kg de FV/m² en comparación con el platómetro. A pesar de la baja concordancia (R²) y el alto Cuadrado Medio del Error de Predicción (CMEP), estos resultados sugieren que ambos métodos podrían ser considerados como complementarios, especialmente para evaluar una amplia gama de valores de oferta forrajera en pastoreo, con la ventaja de ser aplicables en campo con técnicos capacitados.

La evaluación de las dosificaciones de fertilizantes reveló una diferencia significativa en la producción de forraje verde entre la

dosis de 161 kg/Ha (d1) y la dosis de 200 kg/Ha (d2), con una diferencia promedio de 0.373 kg/m². Estos resultados indican que la dosis más baja (d1) es suficiente para producir 3.72 ton/Ha más de forraje que la dosis más alta (d2) en las condiciones actuales del sistema productivo. Esto sugiere que la aplicación de una dosis más alta de fertilizante no es necesaria y podría generar costos adicionales de producción.

El análisis de las interacciones entre las dosificaciones de fertilizantes y las concentraciones reveló diferencias significativas en la relación entre d1 y d2 con el tratamiento f4. Esto indica que la elección de la dosis de 161 kg/Ha (d1) con concentración en NPK de 34-5-4 (f4) produce los mejores resultados en términos de productividad del pasto por metro cuadrado. Estos resultados resaltan la importancia de considerar tanto la dosis como la concentración específica de los fertilizantes para optimizar la producción de forraje verde en las condiciones del sistema productivo estudiado.

Bibliografía

- Bargo, F.; Muller, L. D.; Kolver, E. S. & Delahoy, J. E. (2003) Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *Journal of Dairy Science*, 86(1) 1-42.
- Bernal, J. (1998). Fertilización de pastos mejorados. En *Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre sobre la recuperación de una pradera degradada de pasto kikuyo Pennisetum clandestinum en Nariño, Colombia*. Monómeros
- Bransby, D. I.; Matches, A. G. & Krause, G. F. (1977). Disk meter for rapid estimation of herbage yield in grazing trials 1. *Agronomy Journal*, 69(3), 393-396.
- Builes, A. & Gómez, M. (2004). *Evaluación de la producción y calidad de kikuyo (Pennisetum clandestinum) asociado con árboles de aliso (Alnus acuminata) en bmh-MB* (Trabajo de grado). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Calderón-Rangel, A.; Rodríguez, V. C. & Martínez-H, N. (2013). Determinación de adulterantes en leches crudas acopiadas en procesadoras de quesos en Montería (Córdoba). *Orinoquia*, 17(2), 202-206. Recuperado July 18, 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092013000200007&lng=en&tlng=es.
- Castro, R.; Hernández, G.; Aguilar & Ramírez, O. (2011). Comparación de métodos para estimar rendimiento de forraje en praderas asociadas. *Revista Naturaleza y Desarrollo*, 9(1), 38-46.
- Correa, H. J.; Pabón, M. L. & Carulla, J. E. (2009). Balance y eficiencia en el uso del nitrógeno en vacas Holstein lactantes bajo pastoreo. Memorias del Primer Simposio en Producción Animal, *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), 34.
- DANE. (2013). Boletín mensual de los precios de la leche. Sistema de información de precios y abastecimiento del sector agropecuario (SIPSA). 09 de agosto de 2013. Número 9.

- Echeverri, J.; Restrepo, LF & Parra, JE (2010). Evaluación comparativa de los parámetros productivos y agronómicos del pasto kikuyo Pennisetum clandestinum bajo dos metodologías de fertilización. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(1), 85-95. Antioquia, Colombia.
- El Colombiano (2022, 23 de marzo). Escasez de fertilizante amenaza con encarecer más la canasta básica familiar. *El Colombiano*. Reporte de noticia en Colombia.
- El Espectador. (2012, 14 de mayo). Ingresos de campesinos bajarán un 70 % por TLC Colombia-EE. UU. *El Espectador*. <http://www.elespectador.com/> [2013, 15 de noviembre].
- FAO (2022). El Mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades. Roma.
- FEDEGAN. (2017). En menos de 40 días de 2017, Colombia está llena de leche importada. *Fedegán*. <https://www.fedegan.org.co/noticias/en-menos-de-40-dias-de-2017-colombia-esta-llena-de-leche-importada>
- Garay, L.; Barberi, F. & Cardona, I. (2010). *Impactos del TLC con Estados Unidos sobre la economía campesina en Colombia*. ILSA y Oxfam.
- Guerrero, R. (1998). *Fertilización de cultivos en clima frío*. Monómeros.
- Haydock, K. P. & Shaw N. H. (1975) The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(76).
- Hernández, T. (2004). *Sembrar sin Arar. Cultivos de leguminosas, pastos y otras especies sobre praderas de kikuyo con cero labranza*. Editorial Abya-Yala.
- Herrera, C. (2011). Análisis de costos e ingresos de un hato lechero como herramienta para la toma de decisiones en el largo plazo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24(3), 347-357.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. Tropical Science Centre. San José, California: USA.
- Mejía, A.; Ochoa, R. & Medina, M. (2014). Efecto de diferentes dosis de fertilizante compuesto en la calidad del pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum Hochst. Ex Chiov.). *Pastos y Forrajes*, 37(1), 31-37.
-

- Mila, A. & Corredor, G. (2004). Evolución de la composición botánica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. En *Revista Corpoica*, 5(1), 70-75.
- R Core Team (2022). A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez, G. (2013). Plantean nueva estrategia para recuperar los pastos. *El Colombiano*.
- Sánchez, C. (2004). *Cultivo y Producción de Pastos y Forrajes*. Ediciones Ripalme.
- Segura, F. & Rojas, O. (2008). Impacto de la fertilización nitrogenada sobre el pasto guinea (*Panicum máximum* Jacq) en el bosque húmedo premontano en el departamento del Tolima. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, Universidad del Tolima.
- Silva, A.; Coral, E. & Menjivar, J. (2006). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la actividad microbial y rendimiento de avena forrajera en un suelo andisol del departamento de Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*.
- Silva, A.; Menjívar, J., Álava, C., & Gómez, H. (2010). Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre sobre la recuperación de una pradera degradada de Kikuyo *Pennisetum clandestinum* en Nariño, Colombia. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Velasco, Z.; Hernández, G.; González, H.; Pérez, P.; Vaquera, H. & Galvis, S. (2001). Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.). *Técnica Pecuaria en México*, 39, 1-14.
- Zuluaga, J.; Restrepo, L. & Parra, J. (2010). Evaluación comparativa de los parámetros productivos y agronómicos del pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* bajo dos metodologías de fertilización. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(2), 94-100.
-

Anexos

Anexo 1

Análisis de varianza de la metodología de Haydock y Shaw 1975

Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	P_value	Significancia
Bloque	2	3.867	1.9333	16.557	6.87E-05	***
Dosis	1	2.725	2.7248	23.335	0.000116	***
Fertilizante	2	0.386	0.1929	1.652	0.218013	
Dosis: Fertilizante	2	1.004	0.502	4.299	0.028828	*
Residuales	19	2.219	0.1168			

Anexo 2

Análisis de varianza de la metodología del platómetro

Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	P_value	Significancia
Bloque	2	1.7275	0.8637	22.304	1.03E-05	***
Dosis	1	0.0311	0.0311	0.803	0.3814	
Fertilizante	2	0.2714	0.1357	3.504	0.0507	
Dosis: Fertilizante	2	0.04	0.02	0.516	0.6051	
Residuales	19	0.7358	0.0387			

Anexo 3

Contraste de los efectos simples de cada uno de los tratamientos del experimento

Contraste	Diferencia	P_value	signif.	Límite Inferior	Límite Superior	Significancia
d1:f0-d1:f1	-0.0533333	0.8504		-0.63730557	0.5306389	***
d1:f0-d1:f4	-0.8466667	0.0068	**	-1.4306389	-0.2626944	
d1:f0-d2:f0	0.41	0.1061		-0.09573479	0.9157348	

Contraste	Diferencia	P_value	signif.	Límite Inferior	Límite Superior	Significancia
d1:f0-d2:f1	0.30666667	0.2197		-0.19906813	0.8124015	
d1:f0-d2:f4	0.405	0.1101		-0.10073479	0.9107348	
d1:f1-d1:f4	-0.79333333	0.0104	*	-1.37730557	-0.2093611	
d1:f1-d2:f0	0.46333333	0.0703	.	-0.04240146	0.9690681	
d1:f1-d2:f1	0.36	0.1527		-0.14573479	0.8657348	
d1:f1-d2:f4	0.45833333	0.0732	.	-0.04740146	0.9640681	
d1:f4-d2:f0	1.25666667	0.0001	***	0.75093187	1.7624015	
d1:f4-d2:f1	1.15333333	0.0001	***	0.64759854	1.6590681	
d1:f4-d2:f4	1.25166667	0.0001	***	0.74593187	1.7574015	
d2:f0-d2:f1	-0.10333333	0.6065		-0.51626406	0.3095974	
d2:f0-d2:f4	-0.005	0.98		-0.41793073	0.4079307	
d2:f1-d2:f4	0.09833333	0.6239		-0.3145974	0.5112641	

Anexo 4

Análisis del supuesto de Normalidad con la Prueba de Shapiro-Wilk

$$W = 0.9816, p\text{-value} = 0.8966$$

Anexo 5

Análisis de homocedasticidad de varianza con la prueba de Levene

	G. L	F	P_value	Significancia
Grupo	5	1.1581	0.3621	