

ISSN 2500 - 5553

Revista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE

A la verdad por la fe y la ciencia | Vol. 34 N.º 52 | 114 páginas | julio - diciembre 2023 | Rionegro - Antioquia - Colombia

Especial
Ciencia y
sostenibilidad

52



Revista Universidad Católica de Oriente

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 52, Julio - Diciembre 2023
ISSN: 2500-5553 (en línea)

Periodicidad semestral

Publicación

Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente

Canciller

Mons. Fidel León Cadavid Marín

Rector

Pbro. Angel David Agudelo Mesa

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 invitado

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

Publicación

Revista Universidad Católica de Oriente
Especial Ciencia y sostenibilidad
Volumen 34 - Número 52, julio - diciembre 2023



El contenido de todos los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores quienes garantizan, 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 52 • julio - diciembre 2023
Rionegro - Antioquia, Colombia
114 páginas*

Contenido

Número especial
**CIENCIA Y
SOSTENIBILIDAD**

6 Editorial

Carlos Leonardo Guerra-Marín

9 Evaluación de las especies vegetales *Chrysopogon zizanioides*, *Cynodon plectostachyus*, *Calathea lutea*, *Bambusa spp*, *Brachiaria decumbens* y *Arachis pintoii* en la estabilización de taludes erosionados

Rubén Darío David Giraldo, María Isabel Cadavid Álvarez y Ana María Villegas Valencia

23 Comparación de rentabilidad por hectárea de las razas Jersey, Holstein y Jerhol en 3 diferentes zonas de Antioquia

Kevin Durán Quintero, Juan Carlos Marín Restrepo, Carlos Leonardo Guerra-Marín y Carlos Santiago Escobar

37 Efecto de la inclusión del propionato de calcio en la dieta de ovinos sobre el consumo y la digestibilidad aparente

Estefanía Arbeláez Arango, Henry Alzate Quintero, Sebastián Montoya Uribe y Carlos Santiago Escobar Restrepo

49 Evaluación de la condición corporal de las cerdas durante la lactancia y su efecto sobre el tamaño y peso de la camada

Mateo Marín Alzate y Carlos Leonardo Guerra-Marín

60 Evaluación del efecto de la nutrición NPK y su incidencia en la productividad en el cultivo de maíz (*Zea mays*)

Alejandra Aguirre, David Monsalve, Alejandro Giraldo Franco, Sebastián Montoya Uribe

83

Disolución in vitro de grasa sobrepasante con lisina en soluciones con diferentes pH como alternativa proteico-energética en bovinos

Simón Castro Valencia, Sebastián Jurado Castañeda, William Armando Tapie Canacuan y Carlos Santiago Escobar Restrepo

100

Protocolo para la propagación por esquejes de plantas de botón de oro (*Tithonia diversifolia*)

Nelson J. Montoya-Pérez, Carlos Leonardo Guerra-Marín, Emily Chica-García, Jhonny A. Bedoya y Samir Julián Calvo-Cardona

Editorial

Ciencia y sostenibilidad: el camino hacia un futuro agropecuario innovador

La Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Oriente, como parte de su misión de contribuir al desarrollo sostenible del sector agropecuario, presenta en esta edición un conjunto de investigaciones que destacan la relevancia de la ciencia aplicada en la solución de problemáticas locales y globales. Cada artículo refleja el compromiso de nuestra comunidad académica con la sostenibilidad, la productividad y la innovación, pilares fundamentales para enfrentar los desafíos actuales y futuros de la agroindustria. Esta edición representa un hito significativo al reunir estudios que, desde distintas perspectivas, buscan aportar soluciones prácticas y eficientes a problemáticas complejas, consolidando así el vínculo entre la academia y las necesidades reales del sector productivo.

Uno de los grandes retos que enfrentamos es la conservación de los suelos y la mitigación de los efectos de la erosión, una problemática que afecta directamente la estabilidad de los ecosistemas y la productividad agrícola. En este contexto, el artículo "Evaluación de las especies vegetales en la estabilización de taludes erosionados" aporta soluciones concretas mediante la selección de especies con capacidad para proteger y recuperar áreas vulnerables. Este tipo de investigaciones no solo promueven la sostenibilidad ambiental, sino que también fortalecen la resiliencia de los sistemas productivos. Además, al considerar la interacción entre las plantas seleccionadas y los ecosistemas donde se implementan, se logra un enfoque más integral para abordar el deterioro del suelo, aportando beneficios a largo plazo.

Otro eje relevante en esta edición es la optimización de la productividad en el sector pecuario, con énfasis en la rentabilidad y el bienestar animal. En el artículo "Comparación de rentabilidad por hectárea de las razas Jersey, Holstein y Jerhol en tres diferentes zonas de Antioquia", los autores analizan cómo las condiciones específicas de cada región pueden influir

en la eficiencia productiva, brindando información valiosa para la toma de decisiones en ganadería. Este análisis no solo ayuda a identificar razas más adaptadas a las particularidades de cada zona, sino que también ofrece a los productores herramientas prácticas para maximizar sus resultados económicos. Complementando esta temática, el estudio "Efecto de la inclusión del propionato de calcio en la dieta de ovinos sobre el consumo y la digestibilidad aparente" profundiza en el impacto de estrategias nutricionales en la mejora de los parámetros digestivos, mientras que "Evaluación de la condición corporal de las cerdas durante la lactancia y su efecto sobre el tamaño y peso de la camada" aborda la importancia del manejo nutricional y reproductivo en la porcicultura. Este último resulta crucial, ya que el cuidado integral durante la lactancia no solo incide en la supervivencia de las crías, sino también en el rendimiento futuro de la granja.

En el ámbito agrícola, el artículo "Evaluación del efecto de la nutrición NPK y su incidencia en la productividad en el cultivo de maíz (*Zea mays*)" evidencia cómo las prácticas de fertilización pueden influir significativamente en los rendimientos de uno de los cultivos más importantes para la seguridad alimentaria. Este trabajo pone en relieve la importancia de una nutrición balanceada en el suelo, destacando cómo las proporciones adecuadas de nitrógeno, fósforo y potasio pueden incrementar no solo la cantidad, sino también la calidad de las cosechas. Asimismo, "Producción y solubilización in vitro de Grass corpusant con lisina a diferentes pH como alternativa proteico-energética en bovinos" explora soluciones innovadoras para la nutrición animal, mostrando el potencial de recursos alternativos para mejorar la eficiencia alimenticia en sistemas ganaderos. Estas investigaciones ofrecen alternativas prácticas para enfrentar desafíos globales, como la creciente demanda de proteína animal en un contexto de recursos limitados.

Finalmente, "Protocolo para la propagación por esquejes de plantas de botón de oro (*Tithonia diversifolia*)" ofrece una mirada a las posibilidades

de multiplicación de esta planta forrajera, conocida por sus múltiples beneficios en sistemas silvopastoriles, lo que refuerza la importancia de prácticas sostenibles e integradas en la agroindustria. La implementación de protocolos como este permite no solo aumentar la disponibilidad de recursos forrajeros de alta calidad, sino también contribuir al bienestar de los sistemas productivos de forma sostenible.

Cada uno de estos artículos refleja el esfuerzo colectivo por generar conocimiento que transforme realidades y aporte al desarrollo sostenible de nuestra región y el país. Como Facultad, nos sentimos orgullosos de liderar procesos que integran investigación, formación y extensión, consolidándonos como un referente académico al servicio de la sociedad. A través de estas iniciativas, reafirmamos nuestro compromiso con la construcción de una agroindustria más resiliente y responsable, capaz de responder a los retos que plantea un mundo en constante cambio.

Invitamos a nuestros lectores a sumergirse en estos contenidos y a reflexionar sobre la importancia de la ciencia agropecuaria en la construcción de un futuro más equitativo, sostenible y próspero. Agradecemos a los autores, estudiantes, docentes e investigadores que hacen posible esta labor, y reafirmamos nuestro compromiso de seguir fomentando espacios de intercambio y difusión del conocimiento. En cada página de esta edición, encontrarán ideas, propuestas y análisis que son el resultado de un trabajo conjunto y dedicado, orientado hacia la excelencia académica y el impacto positivo en nuestra comunidad.

Carlos Leonardo Guerra-Marín
Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Católica de Oriente

Evaluación de las especies vegetales *Chrysopogon zizanioides*, *Cynodon plectostachyus*, *Calathea lutea*, *Bambusa spp*, *Brachiaria decumbens* y *Arachis pintoii* en la estabilización de taludes erosionados

*Evaluation of plant species *Chrysopogon zizanioides*, *Cynodon plectostachyus*, *Calathea lutea*, *Bambusa spp*, *Brachiaria decumbens* and *Arachis pintoii* in the stabilization of eroded slopes*

Rubén Darío David Giraldo¹, María Isabel Cadavid Álvarez² y Ana María Villegas Valencia²

1 Ingeniero agrónomo, magíster en geomorfología y suelos, docente Universidad Católica de Oriente UCO. ORCID: 0000-0002-3643-2046.

2 Agrónomas Universidad Católica de Oriente UCO, isabel.alvarez9511@gmail.com; anaMariavillegasvalencia@gmail.com

Resumen

El estudio se realizó en el municipio de San Vicente Ferrer Antioquia, (coordenadas 6°17'28.99" N 75°14'15.23" O), en un talud erosionado con un área de 96 m² y una pendiente mayor a 100 %. El área se distribuyó en dos partes iguales (de 48 m²), una para el testigo y otra para los tratamientos. Los tratamientos correspondieron a la realización de terrazas una distancia entre ellas de 1 metro (m), y se sembraron las especies a evaluar. Para llevar a cabo la investigación, se instalaron 12 marcos de madera (6 para el testigo y 6 para el tratamiento); cada marco se adecuó con un sistema constituido por marco-sifón-recipiente donde el agua y los sedimentos que se removían al interior del marco llegaban al recipiente, y se recolectaba cada 15 días,

se cuantificaba el suelo desplazado, por un periodo de 12 meses, dicho suelo removido se pesaba y se secaba en un horno a 105°, para obtener la masa de suelo seco removido. Después del año, se encontró que las especies que mayor adaptabilidad evidenciaron fueron *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver) y *Brachiaria decumbens* (*Brachiaria*), ya que presentaron un 100 % de cubrimiento del área y sobrevivencia. En cuanto a la erosión del suelo, se encontró que el tratamiento con las terrazas y especies vegetales, durante el periodo monitoreado tuvo una retención del 59 %, correspondiendo a 65,9 toneladas ha⁻¹, comparado con el testigo donde se presentó una pérdida anual de 159 toneladas ha⁻¹.

Palabras clave

Erosión, Talud, Bioingeniería, Estabilización.

Abstract

The following study was carried out in the municipality of San Vicente Antioquia, (GPS coordinates 6°17'28.99" N 75°14'15.23" O), with a total area of 96 m² and a slope greater than 100 %. The study area was distributed in two equal parts, one for the control and the other the treatment, in the latter were made terraces of 1 meter (m), in the face of the slide the following plant species. To carry out the experimental design, 12 wooden frames were installed (6 for the control and 6 for the treatment), each frame was adapted with a system consisting of a frame-siphon-vessel where the water and sediments to be removed were collected, the displaced soil

was quantified every 15 days, the data were taken for a period of 12 months (1 year), the collected soil was weighed and dried in an oven at 105°, resulting in the final data the mass of dry soil removed. After the year, the species that showed the greatest adaptability were *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver) and *Brachiaria decumbens* (*Brachiaria*), as they presented a 100 % coverage of the area and survival, as far as soil erosion was found that the treatment with terraces and plant species, during the monitored period had a retention of 59 % corresponding to 65,9 tonnes ha⁻¹, compared to the witness where there was an annual loss of 159 tonnes ha⁻¹.

Keywords

Erosion, Slope, Bioengineering, Stabilization.

Introducción

El suelo es un recurso natural no renovable, el cual sirve como soporte a los ecosistemas terrestres, ya sean naturales o productivos (Alonso y otros, 2011). Del estado de conservación del suelo dependen distintos factores, no solo en relación con la productividad agrícola, si no también socioeconómicos y culturales. Uno de los principales problemas que presenta este recurso es la pérdida por erosión, la cual puede presentarse por acciones del agua, viento, intervención humana, entre otras (Alba Alonso y otros, 2011).

Una de las consecuencias relevantes en la erosión es la degradación de su estructura y pérdida de sus nutrientes y componentes naturales, afectando así todas las funciones productivas del suelo (Alba Alonso y otros, 2011). A nivel mundial, se presentan cifras significativas de pérdidas de suelo por erosión que afectan a más de 1900 millones de hectáreas (IAEA, 2019).

A nivel del país (Colombia), como consecuencia de las condiciones climáticas, geográficas y de distintos usos del suelo, frecuentemente se presentan problemas de erosión y pérdida de suelos e infraestructura, lo cual, según Torres, López, García, Arciniegas, & Sánchez (2015), se debe entre otras razones al aumento poblacional, negligencia en los manejos, y desgaste o mal uso de recursos naturales.

Según lo reportan distintas entidades oficiales, se presenta una alta degradación de suelos, a saber: 45 377 070 ha (40 % de la superficie continental de Colombia), de las cuales el 20 % se encuentran en un grado de erosión ligera, el 17 % en grado de erosión moderada, y el 3 % en grado de erosión severa y muy severa. Se ha observado que estos procesos erosivos y pérdida de suelo son en gran parte por actividades antrópicas como extracción de minerales (minería), prácticas agrícolas y pecuarias sin control, deforestación en zonas de ladera, construcción de infraestructuras (vías, hidroeléctricas, etc.), crecimiento urbanístico, entre otras. Las consecuencias más frecuentes se pueden apreciar mediante inundaciones de poblados o asentamientos humanos que en ocasiones han generado afectación de la integridad de las personas, muerte, desapariciones, pérdida de bienes materiales y económicos, depreciación de la "tierra", pérdidas de cultivos y zonas ganaderas, pérdidas de bienes materiales y afectaciones al medio ambiente en general (Giraldo, 2017).

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2015), los daños afectan la composición física, química y biológica, generando consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales (IDEAM; Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales [UDCA], 2015; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

[MADS], 2014). En el departamento de Antioquia, y en especial en el área en jurisdicción de CORNARE, el relieve está compuesto principalmente por altiplanos colinados, denominados como superficie de erosión (Arias, 1995). De acuerdo con un estudio geomorfológico realizado en el municipio de San Vicente, la superficie de erosión abarca el 60 % del territorio (Cornare-Gobernación de Antioquia, 2011).

En la actualidad, se busca encontrar herramientas que controlen dicha situación. Una de estas ha sido la implementación de la vegetación y la bioingeniería, que comprende el uso de especies vivas para control de la erosión de suelos y la estabilización de taludes, combinando prácticas clásicas de la ingeniería tradicional, con la introducción de organismos vivos como plantas, algas, líquenes y microorganismos. Para el uso de plantas, es importante que estas sean pioneras, es decir que sean de rápido crecimiento y de fácil multiplicación, y que a su vez las raíces proporcionen amarre al suelo y resistencia a los deslizamientos, como ejemplares se encuentran las gramíneas, leguminosas y otras, que sus raíces pueden tener profundidades de un metro o superior. (Mendoza, 2011)

Generalmente, la revegetalización es un método eficiente para el control de la erosión en cárcavas, reduciendo el impacto de la lluvia, ayudando a aumentar la resistencia hidráulica del terreno; como ejemplares encontramos el grupo de las gramíneas, las cuales reportan una reducción entre el 50 y 60 % de escorrentía, y las leguminosas que logran reducir las pérdidas por erosión hasta un 75 % o superior (Morgan, 1986).

Diferentes estudios, como el de Díaz Mendoza (2011), titulado "Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización", hacen énfasis en las metodologías aplicadas a la bioingeniería para el control de la erosión, debido a los diversos problemas ambientales, cambios y alteraciones que afectan el geo ecosistema, siendo la vegetación una de las técnicas con mejores resultados para control donde la disminución de la escorrentía y la erosión. Para ello se usan pastos como el vetiver, bambú o guadua y árboles.

Para Giraldo (2017), la práctica más común de mejor comportamiento en la estabilización de taludes consiste en los cubrimientos densos con especies de rápido crecimiento, especialmente gramíneas, las cuales hacen enmallado de raíces superficiales y evitan la salida de las partículas de menor tamaño. Además, se recomienda hacer una segunda siembra con especies protectoras que funcionan como barreras vivas de leguminosas, beneficiando el suelo con microorganismos benéficos que mitigan la escorrentía causada por la precipitación.

Teniendo en cuenta lo anterior, se formuló este proyecto con el objetivo de implementar un manejo y estabilización de taludes con técnicas de bioingeniería, con diferentes especies vegetales, algunas nativas, otras introducidas en la región, pero que presentan características de alta adaptabilidad en la zona, que son conocidas por sus beneficios

en prevención de erosión y no representan riesgos de ser invasoras, combinando las prácticas tradicionales de la ingeniería con técnicas de bioingeniería y fitorremediación de condiciones físicas que ayuden a prevenir y contener las pérdidas de suelos (erosión), de bajo costo y de fácil aplicación.

Metodología

Área de estudio

El trabajo se realizó en el predio San German, ubicado en la vereda Potreritos en las siguientes coordenadas 6°17'28.99" N 75°14'15.23" O, del municipio de San Vicente Ferrer Antioquia; esta zona presenta una topografía irregular e inclinada, una temperatura entre los 12 a 22°C. La precipitación anual es de 4800 mm al año, ya que es influenciada por la zona de embalses "Peñol-Guatapé"; se encuentra a una altitud de 2200 msnm y en la que predomina el clima frío (Alcaldía municipal de San Vicente Ferrer-Antioquia, 2020). El predio presenta diferentes zonas erosionadas o con susceptibilidad; allí se seleccionó un talud en la vía interna de acceso, con un área total de 96 m², donde se destinó la mitad para tratamiento (48m²) y la otra se dejó como testigo absoluto.

En el lugar seleccionado se caracterizó el suelo mediante descripción del perfil de meteorización, textura, estructura, etc., se estimó la pendiente (inclinación), se observó el movimiento del agua de escorrentía superficial mediante las zanjas, surcos o desagües, se

evaluó la cobertura vegetal y finalmente se identificaron las actividades antrópicas del predio y puntualmente, de la zona de estudio.

Desarrollo de labores de contención de suelo

Una vez caracterizada la zona, se procedió con la realización de labores que permitieron la estabilización del talud, a saber:

Elaboración de terrazas de contención con curvas a nivel en la parte del tratamiento, que correspondía a media cara del deslizamiento, con distanciadas entre las terrazas de un metro (1 m) entre ellas, con materiales propios del predio como estacones y ramas de pinos secos, guadua, restos de aserrado de madera "orillos", entre otras.

Se elaboraron 8 terrazas, cada una en promedio de 5 metros lineales, donde se sembraron en total 50 plantas de vetiver, 2 kg de semilla sexual de *Brachiaria*, 15 kilogramos de semilla asexual de estolones de pasto estrella, 20 plantas de bambú, 20 de bijao y 15 kg de maní forrajero (estolones).

La siembra de las especies se realizó de forma directa y cada una de estas se recolectó en diferentes lugares: el bijao (*Calathea lutea*) fue recogido cerca al sitio de investigación con condiciones edáfico climáticas similares, el bambú (*Bambusa spp*) fue recolectado en el campus de la Universidad Católica de Oriente, el pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) se recolectó en el municipio de Marinilla, con condiciones similares al sitio del experimento, el maní forrajero (*Arachis pintoii*) se tomó del

mismo predio, el vetiver se recolectó en el municipio de Rionegro, pero se multiplicó por esquejes y se enraizó en recipientes con suelo en el mismo predio hasta que estaban en su punto para trasplante, y finalmente, la especie que se sembró sexualmente con semilla certificada fue *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*).

Una vez colectado el material vegetal, y obtenida la semilla sexual, se procedió con la siembra así: en las terrazas elaboradas se plantaron con abono orgánico certificado a una dosis de 20 gramos por planta y alternadas las especies vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) y *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*) con el fin de poblar la cara del deslizamiento, en las terrazas y en los espacios entre estas.

En los alrededores o la periferia del talud en tratamiento, se sembró alternadas las especies bambú (*Bambusa spp*), bijao (*Calathea lutea*) y maní forrajero (*Arachis pintoii*), con el fin de estabilizar el entorno.

Medición de suelos removidos: para comparar los efectos de los tratamientos, se tuvo un talud testigo. En cada área a evaluar (tratamiento y testigo) se dispuso de a 6 marcos (para un total de 12), de dimensiones de un metro cuadrado (1m²), y de 10 centímetros de alto o espesor, los cuales tenían como función capturar el agua y los sedimentos que se removieron dentro de este; a su vez se conectaron con un sifón o drenaje que se comunicaba con un recipiente de capacidad de 20 litros de volumen,

garantizando un sellado en este sistema constituido por marco-sifón-recipiente para evitar ingresos adicionales o pérdidas (figura 1), de esta manera se pudo cuantificar quincenalmente el suelo desplazado. Dichos marcos de captura tuvieron una distribución espacial matemática de tres metros de distancia entre ellos, tanto verticales, como horizontales, para tener una distribución uniforme, cubriendo la totalidad del área.

Figura 1

Talud de investigación, con tratamientos y testigo



Nota. Fotografía de Cadavid, Villegas, (2020).

Monitoreo, evaluación de pérdida de suelo y adaptabilidad de especies vegetales: una vez elaboradas las terrazas y realizada la siembra de las especies, se realizó un monitoreo con una frecuencia quincenal, donde se evaluó la remoción de suelos o pérdida de este en cada recipiente, este se colectaba, se tamizaba en un tamiz de 1-2 mm de diámetro con el fin de drenar la mayor cantidad de agua

posible, se pesaba y una porción de este en el laboratorio se secaba en una deshidratadora a 105° Celsius durante 36 horas, la cual automáticamente determinaba la humedad, mediante el peso inicial y el peso final, con estos datos de humedad y masa de suelo seco, se extrapolaba a la cantidad de suelo, estos datos fueron tomados y copilados por doce meses (1 año) en una base de datos. Debido a que en cada marco se tenía un metro cuadrado (1m²), y se sabía el número de marcos en cada área del tratamiento y del testigo, con los datos obtenidos, se procedió a extrapolar o determinar la cantidad de suelo removido por hectárea en un año.

Para determinar el porcentaje de cobertura y supervivencia en el área cubierta de las terrazas, se tuvo en cuenta el número de plantas y el porcentaje de cubrimiento del área tratada en el marco real de 1m², en el cual se colectaba el material removido.

Modelo estadístico

Con los datos obtenidos se procedió a determinar la ecuación matemática que mejor explicaba los datos o el comportamiento de la remoción de suelos, a saber:

$Y = ae_{bx}$ (Ecuación exponencial)

$Y = ax + b$ (Ecuación lineal)

$Y = a \log(x)$ (Ecuación logarítmica)

$Y = ax_2 + bx + c$ (Ecuación polinómica)

Donde

Y= variable dependiente (erosión del terreno)

X= variable independiente (tiempo de estabilización)

a, b, c y d son valores constantes de la ecuación.

Los modelos de regresión se utilizaron para determinar cuál se adaptó mejor a los datos tomados.

Resultados y discusión

Características del talud intervenido

El área de estudio seleccionada cuenta con una inclinación de la pendiente mayor a 75 % (45°) y una precipitación anual de 4800 mm³. Se determinó que el horizonte que predomina en el perfil del suelo es el horizonte C o saprolito/regolito de 6 m de espesor (roca altamente meteorizada) con poca cohesión entre sus partículas, de textura arenas gruesas y gravas, además, dicho perfil no tenía cobertura vegetal, ya que toda se había removido con el suelo por movimiento en masas, las intervenciones que se habían realizado correspondían a apertura de carretera, la cual le quitó el apoyo o soporte al talud, lo cual junto al tipo de suelos, favoreció el movimiento en masa. También se encontró que en el predio se realizaban actividades pecuarias y pastoreo extensivo, por lo que el manejo de aguas de escorrentía era deficiente, ya que el agua se movía libremente por el perfil del suelo en la cara de deslizamiento y causaba erosión por surcos verticales (en favor de la pendiente), removiendo así el suelo y favoreciendo los movimientos de masa.

A nivel de crecimiento y adaptación vegetal, se encontró que, de las seis especies plantadas, dos tuvieron mayor sobrevivencia y adaptabilidad; esto se determinó por el porcentaje de sobrevivencia de cada especie y cubrimiento del área en cada marco, dichas especies corresponden al Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*), ya que de las 50 plantas de vetiver, todas se establecieron en el suelo y presentaron un crecimiento vigoroso, hasta los 60 centímetros de longitud en su parte aérea en el tiempo de medición. Por su parte, la *Brachiaria* logró una germinación superior al 80 % de las semillas y un cubrimiento del área de los marcos hasta del 60 %. En cuanto a las demás plantas, la mayoría presentaron mortalidad, o durante el tiempo de la evaluación, presentaron crecimiento significativamente lento, resultados que coinciden con lo reportado por Hernandez Columbie & Guardado Lacaba (2014) y Gallo Diaz (2017).

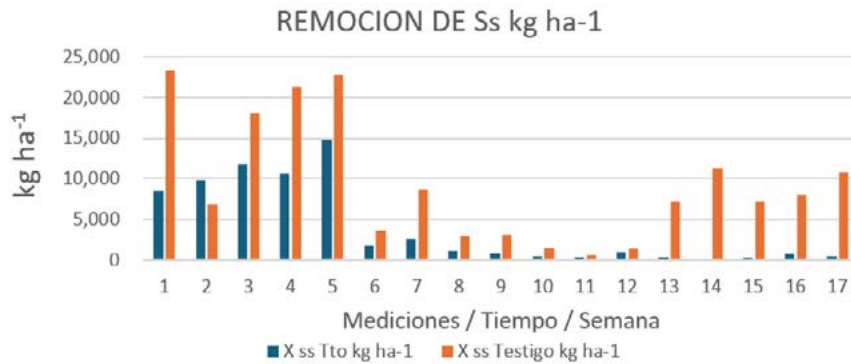
El pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), el bijao (*Calathea lutea* A.), el bambú (*Bambusoideae*) y maní forrajero (*Arachis pintoi*) no tuvieron un adecuado desarrollo o adaptabilidad ya que su crecimiento fue lento en el tiempo de estudio y la mayoría presentaron mortalidad. Esta baja adaptación se pudo deber a las condiciones edafológicas de las caras del deslizamiento, ya que este, por el movimiento en masa, había perdido el suelo con su materia orgánica y la fertilidad natural. Además, la humedad no se retenía por la pendiente y el saprolito (horizonte

C), por tanto, las condiciones no eran adecuadas para el crecimiento vegetal, ya que como se reporta para el bijao, según la FAO (2000), este presenta mejor desarrollo en zonas húmedas y climas calidos humedos o tropicales, sin embargo, allí en la zona de estudio, el suelo se había perdido con sus nutrientes y la humedad; por tanto, se considera que esto limitó el crecimiento de la mayoría de las especies. Por su parte, para el maní forrajero, se reporta por Argel & Villarreal M (1995), que la altitud adecuada oscila entre los 200 y los 1400 m s. n. m., y a mayor altitud, su colonización y crecimiento se torna más lento; dado que el predio de la investigación está sobre los 2200 m s. n. m., lo que también lo pudo afectar.

En cuanto a la erosión, se encontró que la remoción de suelo seco en kilogramos por hectárea (kg ha^{-1}) fue mayor en el talud no tratado (testigo) con $23.334 \text{ kg ha}^{-1}$, mientras que en el talud tratado (tratamiento) hubo menor perdida de suelos con cerca de $15.000 \text{ kg ha}^{-1}$ (figura 1), sin embargo, en las primeras cinco (5) mediciones, que correspondieron a los primero tres (3) meses, se observó un comportamiento similar, lo cual se puede deber a que las especies vegetales estaban empezando su adaptación o iniciando su germinación, por tanto, en las primeras semanas aun no empezaban a retener suelo, pero a partir de allí el talud tratado disminuyó la remoción del suelo.

Figura 2

Remoción de suelo seco en kg/ha^{-1}

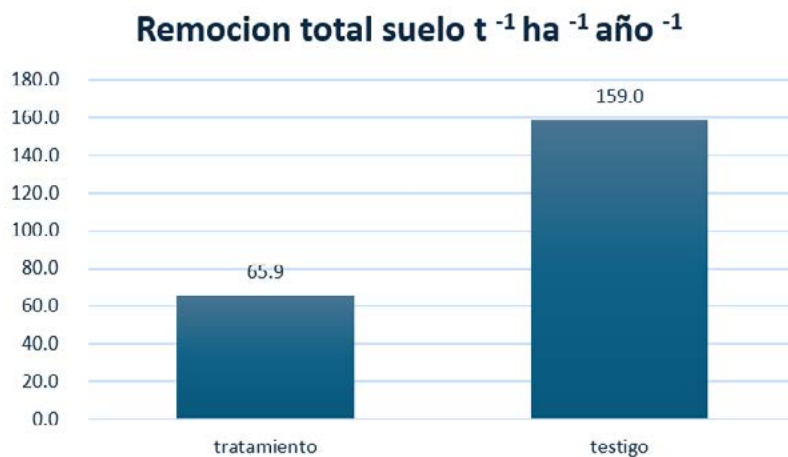


Nota. Elaboración propia.

En la figura 2, se ilustra los datos extrapolados a toneladas hectárea⁻¹ año⁻¹, donde se encontró que anualmente en un talud sin intervención se remueve 159 toneladas hectárea⁻¹, mientras que, con la intervención, la remoción disminuye notoriamente a 65,9 toneladas⁻¹ hectárea⁻¹ año⁻¹.

Figura 3

Remoción total de suelo toneladas⁻¹ hectárea⁻¹ año⁻¹



Nota. Los subíndices negativos de exponenciales son en nomenclatura universas divisores, por ejemplo, toneladas por hectárea, en un año. Elaboración propia.

Los datos antes mencionados, se ilustran en la figura 3, donde puede observar que la retención de suelos con los tratamientos es del 59 % del suelo total, es decir que se evita que se pierdan o se remuevan 93.1 toneladas de suelo al año, por hectárea, y se espera que, con el paso del tiempo, la vegetación establecida tenga mayor desarrollo radicular, por tanto, podría disminuir la erosión en el talud.

Figura 4

Efecto del tratamiento en el suelo

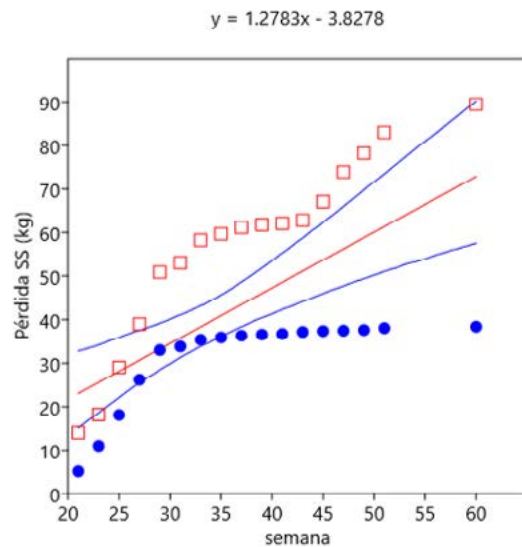


Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con el comportamiento de los kilogramos acumulados en pérdida de suelo seco (SS) durante el tiempo medido, representado por el testigo (línea roja figura 5) versus el tratamiento (línea azul figura 5), en la cara del talud que no tuvo intervención (testigo) la erosión fue aumentando progresivamente aproximadamente el doble de kilogramos, mientras que en la zona donde fueron plantadas las especies para control de erosión la pérdida disminuyó notablemente (figura 5).

Figura 5

Pérdida de suelos (rojo) versus a contención de la erosión en el tratamiento



Nota. Elaboración propia.

Figura 6

Área de investigación con 8 meses de tratamiento.



Nota. Fotografía de Cadavid, Villegas (2020).

Conclusiones

- Las especies que mejor se adaptaron para estas condiciones edafoclimáticas y que presentaron mayor contención de la remoción y pérdida de suelos fueron Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Brachiaria (*Brachiaria decumbens*).
- Las técnicas combinadas de terrazas pequeñas (de fácil elaboración) con las especies vegetales Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Brachiaria (*Brachiaria decumbens*), lograron reducir la erosión del suelo en un 59 %, es decir, evitaron una pérdida de suelos de 93.1 toneladas de suelo al año, por hectárea.

Recomendaciones

- Es importante conocer las condiciones agroecológicas y edafológicas de las especies vegetales antes de llevar a cabo un programa de manejo de erosión de suelos con estas.
- Para el manejo de zonas erosionadas que presenten condiciones similares a las de la zona en la que se desarrolló la investigación, los pastos vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Brachiaria (*Brachiaria decumbens*), pueden ser de utilidad.

Referencias

- IDEAM, Y MADS (2014). *Degradación de suelos*. IDEAM, & MADS.
- Alcaldía Municipal de San Vicente Ferrer. (2020). Departamento de Antioquia Colombia. Geografía.
- Alonso, S. D., Torralba, M. A., Martín, F., & Abolafio, F. (2011). Erosión y manejo del suelo: Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antropogénicos. En: *Agricultura ecológica en secano. Soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos*. Mundi-Prensa
- Argel, P. J., & Villarreal M., M. (1995). Argel, P. J., & Villarreal M., M. (1995). Leguminosas herbáceas para alimentación animal, en mejoramiento y conservación del suelo. *XI seminario manejo y utilización de pastos y forrajes en sistemas de producción animal*.
- Arias López, L. A. (1995). El relieve de la zona central de Antioquia: Un palimpsesto de eventos tectónicos y climáticos. *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, (10), 9–24. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.325539>
- Cornare-Gobernación de Antioquia (2011). Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de San Vicente. Cornare [https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n2\(2\)a02](https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n2(2)a02)
- Díaz Mendoza, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/38548>
- FAO. (2000). *Manual on integrated soil management and conservation practices* (FAO Land and Water Bulletin No. 8). Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Gallo Díaz, (2017). Adecuación y Revegetalización de taludes producto de la disposición de diversos materiales en la escombrera Rancho Grande del municipio de Piedecuesta, Santander. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

- Castillo Giraldo, (2017). *Sistemas tecnológicos alternativos para la protección vegetal en taludes*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60101/52981038.2017.pdf?sequence=1>
- González, (1991). Ecuación universal de pérdida de suelo: Pasado, presente y futuro. *Ecología*. 13-50. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_05_02_tcm30-100846.pdf
- Hernández Colombié, T., & Guardado Lacaba, R. (2014). Control de erosión mediante bioingeniería en presas de colas de la industria del níquel. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. *Minería y Geología*, 30, 4, octubre-diciembre, 2014, pp. 55-69. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223533734004>
- Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA). (2019). ¿Qué es la erosión del suelo? ¿Como se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares? Oficina de Información al Público y Comunicación. [Uhttps://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-erosion-del-suelo](https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-erosion-del-suelo)
- IDEAM, & U.D.C.A. (2015). *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión*. 188 págs. Publicación aprobada por el IDEAM, Diciembre de 2015, Bogotá D.C., Colombia.
- Home G, Barrow C, Brandt M, et al. *Land Degradation & Development: A new and bright future*. *Land Degrad Dev*. 2018; 29: 2775–2777. <https://doi.org/10.1002/ldr.3097>
- Botero, R., Moreno, R. & Méndez, E. (2011). *Suelos, pastos y forrajes*. Fedegan. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19380>
- Velázquez López, Davis Antonio. (2010). Características y producción del pasto estrella. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, división de Ciencia Animal, Departamento de Recursos Naturales Renovables. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
-

Comparación de rentabilidad por hectárea de las razas Jersey, Holstein y Jerhol en tres diferentes zonas de Antioquia

*Comparison of profitability by hectare of the Jersey,
Holstein and Jerhol Breeds in three different zones
of Antioquia*

***Kevin Durán Quintero¹, Juan Carlos Marín Restrepo²,
Carlos Leonardo Guerra-Marín³ y Carlos Santiago Escobar⁴***

1 Estudiante de pregrado en Zootecnia Universidad Católica de Oriente.

2 Estudiante de pregrado en Zootecnia Universidad Católica de Oriente.

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

4 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente. Semillero de nutrición, alimentación y reproducción (SENAR). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3955-484X>

Resumen

En Latinoamérica, Colombia ocupa el cuarto lugar en producción de leche. Sin embargo, elevado costo de producción puede ser limitante para la rentabilidad de esta actividad, debido a que los costos variables como los suplementos y los abonos han tenido un aumento de precio considerable en los últimos años. El objeto de esta investigación fue establecer la rentabilidad lechera por hectárea de las razas Jersey, Holstein y Jerhol en 3 zonas de Antioquia, donde también se tuvieron en cuenta las variables 'costo de producción unitario por litro de leche', 'costo de producción por kilogramo de proteína láctea', 'relación leche-concentrado', y 'costo variable por litro de leche' para dar un mayor soporte a la rentabilidad por hectárea de las diferentes fincas evaluadas.

La investigación se llevó a cabo en las zonas de Oriente, Entreríos y San Pedro de los

Milagros, durante los meses de enero a junio del año 2020, mediante un análisis estadístico descriptivo, realizando visitas periódicas a los productores de leche, donde se identificaban los ingresos y egresos mensuales de cada uno de ellos. El diseño estadístico fue completamente aleatorizado, las correlaciones y las pruebas de Tukey se analizaron mediante el paquete estadístico *Rstudio*.

Al analizar la información, se observó que la finca más rentable se encuentra en la zona de Entreríos y cuenta con animales de la raza Holstein, la cual presentó el menor costo de producción entre las fincas evaluadas, con un valor de \$ 733,17 pesos colombianos. Como resultado, la raza Holstein mostró el mejor desempeño, con una rentabilidad de 564 362 \$/ha. Además, la zona de Entreríos destacó por alcanzar la mayor rentabilidad, con 645 056 \$/ha.

Palabras clave

Ganado bovino, Ganadería, Jersey, Holstein, Jerhol, Antioquia, Producción de leche.

Abstract

In Latin America, Colombia is the fourth largest milk producer. The high cost of production may be limiting for the profitability of this activity. The purpose of this research was to establish the dairy profitability per hectare of the Jersey, Holstein and Jerhol breeds in 3 areas of Antioquia, where the variables Cost was also taken into account unit production per liter of milk, production cost per kg of milk protein, milk: concentrate ratio and variable cost per liter of milk, to give greater support to the profitability per hectare of the different farms evaluated.

The research was carried out in the areas of Oriente, Entreríos and San Pedro de los Milagros, during the months of January to June 2020, making periodic visits to milk producers, where the monthly income and expenses of each one of them.

When analyzing the information, it was observed that the Santa Barbara farm, located in the Entreríos area, which has animals of the Holstein breed, had the lowest production cost of the farms evaluated with a production cost of \$ 733.17. Consequently, in this research, the breed that performed best was the Holstein, with a profitability of \$ 564,362/ha, the Entreríos area was the one that obtained the highest profitability with a value of \$ 645,056 / ha.

Although the farms evaluated were very similar in their productive management, what most influenced the profitability per hectare and cost of production were the volumes of milk produced and the fixed costs of the areas that were evaluated.

Keywords

Cattle, Livestock, Jersey, Holstein, Jerhol, Antioquia, Milk production.

Introducción

En las últimas tres décadas, la producción mundial de leche ha crecido a una tasa promedio anual de 1,8 %, es decir, de 482 toneladas producidas en 1982 a 754 millones de toneladas en 2012. India es el principal productor con una participación del 16 %, seguida de Estados Unidos, Rusia, Brasil y Nueva Zelanda, que concentran el 75 % de la producción total mundial (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2010). En América Latina, Colombia se ubicó con éxito en el cuarto lugar, con aproximadamente 6.500 millones de toneladas producidas en el año 2014. Colombia ocupa el puesto 15 en el ranking global de productores, teniendo una productividad por vaca de 6,1 kg /d, valor que se ve altamente afectado por el ganado doble propósito, que aporta el 55 % de la producción total de leche fresca (Fedegan, 2014).

En 2012, la ganadería de leche en Colombia generó el 3,18 % del empleo total nacional, lo que correspondió al 13,92 % de los empleos del sector agropecuario, el 10,2 % del PIB pecuario y el 0,9 % del PIB nacional. La actividad agroindustrial de la leche proporcionó 13000 empleos directos, con una participación del 2 % del empleo nacional, y del 4 % en la producción industrial (Jaramillo, 2012).

Los costos de producción afectan negativamente la rentabilidad de la operación. Estos varían en función del nivel tecnológico aplicado en la finca, la disponibilidad de mano de obra, agua y forrajes para el ganado, la genética animal, entre otros. Los costos de producción en Colombia varían según la región y el sistema de producción, el costo promedio por litro para pequeños, medianos y grandes productores es de 802, 731 y 774 pesos, respectivamente, los rubros de alimentación y mano de obra son los más influyentes, y representan el 75,8 % de los costos totales (Henao, 2011).

La rentabilidad en ganadería se define de manera general como “producir la mayor cantidad de kg de leche por unidad de superficie, con el menor costo posible”. Dado que es necesario conocer cada uno de los procesos que se deben efectuar para producir un litro de leche, debemos tener en cuenta los siguientes parámetros: determinar el costo de producción por litro de leche, calculando los ingresos y egresos mensuales, generando los resultados económicos de la empresa ganadera, obteniendo así la rentabilidad real de la finca. (Sánchez, 2002). En este sentido, es necesario evaluar las diferentes razas y zonas

de producción de lecherías especializadas, para observar cuál de estas y en qué zona podremos lograr una mayor rentabilidad por hectárea.

En el siguiente artículo se evaluaron 3 razas, Holstein, Jersey y un cruce F1 entre ambas, Jerhol, donde cada una tiene diferentes características productivas; la Holstein se caracteriza por los altos volúmenes de producción que tiene por lactancia. En Colombia, los primeros animales Holstein llegaron al país en el año 1872, con la importación de tres toros y una vaca desde Holanda. A partir de entonces, esta raza ha predominado principalmente en Nariño, Boyacá, Cundinamarca, y Antioquia (Contexto ganadero, 2019). La rentabilidad de la Jersey se ve representada por su alto índice de conversión de pasto a leche, teniendo una calidad de leche con mayores contenidos de grasa y proteína. También su tamaño y peso es de resaltar ya que es menor comparado con otras razas, lo cual le permite desplazarse sin causar excesivo daño sobre pasturas, lo que permite tener más animales por unidad de tierra (Asojerseycolombia, 2019).

El cruce Jerhol, promovido por Colanta, representa una solución eficiente para los pequeños productores ubicados en regiones montañosas con terrenos de pendiente pronunciada. Su tamaño compacto facilita el desplazamiento en terrenos difíciles, a diferencia de razas más pesadas como la Holstein, que puede superar su peso hasta en un 30 %. Además, este cruce, bajo condiciones

óptimas de manejo, es capaz de alcanzar altos niveles de producción y ofrecer sólidos totales de calidad (La República, 2015).

Por otro lado, la ubicación geográfica es una variable determinante en las producciones agropecuarias, ya que influye significativamente en los costos totales de operación. Dentro de estos costos destacan los fijos, como el impuesto predial, los servicios públicos y la mano de obra, los cuales pueden representar una proporción considerable del presupuesto general (Tamayo et al., 2008).

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en tres diferentes zonas de Antioquia con condiciones biofísicas similares: la zona del oriente de Antioquia, ubicada a una altura de 2150 msnm, con una precipitación de 2700 mm/año y una temperatura promedio 18,57 °C; el municipio de Entreríos, ubicado a una altura de 2300 msnm, con una precipitación de 2600 mm/año y una temperatura promedio de 14,20 °C; y el municipio de San Pedro de los Milagros, ubicado a una altura de 2475 msnm, con una precipitación de 2913 mm/año y una temperatura promedio de 14,05 °C.

Se evaluaron 18 fincas mediante un análisis estadístico descriptivo, divididas de la siguiente manera: seis Fincas en el Oriente antioqueño (240 vacas en producción, promedio 40 animales por finca), seis fincas en San Pedro de los Milagros (237 vacas

en producción, promedio 39 animales por finca), y seis fincas en Entreríos (222 vacas en producción, promedio 37 animales por finca) para un total de 700 animales. En cada una de las zonas, se evaluaron dos fincas por cada raza Jersey, Holstein y Jerhol, los manejos productivos fueron similares con un promedio de producción de 16 litros de leche por animal, se determinó la rentabilidad por hectárea de cada una de ellas en un periodo de seis meses.

La rentabilidad por hectárea se halló de la siguiente manera: se tomaron datos de los costos variables y costos fijos, mes por mes, obteniendo la totalidad de los costos de producción de cada finca, luego se recolectaron los ingresos mensuales por pago de leche, para tener el dato de la utilidad por litro y mensual de cada una de ellas; esta utilidad se dividió por el número de hectáreas destinadas para la producción de leche para determinar la rentabilidad por hectárea. Las variables se calcularon en una plantilla, diseñada en Excel, la cual se programó con fórmulas para estimar dicha rentabilidad; las otras variables se determinaron de la siguiente manera: el costo de producción por kg de proteína se calculó así, (litros de leche vendidos * promedio proteína del mes/ 100). Para calcular la relación leche concentrado, se tomó el dato del consumo total de alimento balanceado por día, dividido por el número de vacas en producción, obteniendo el consumo de concentrado animal/día, esto se divide por el promedio de producción de leche día de la finca para obtener dicha relación. Los

costos variables se calcularon de la siguiente manera: el total de costos variables dividido el total de litros de leche producidos. El análisis estadístico se realizó mediante el paquete estadístico *Rstudio*.

El diseño estadístico mediante el cual se evaluó este trabajo fue un diseño completamente aleatorizado de la siguiente manera:

$$\text{Rentabilidad} = U + R + Z + F + RxZ + E$$

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + Z_j + F_k + R_i \times Z_j + E_{ijk}$$

Y = la variable respuesta

R = Raza

Z = zona

F = finca

RxZ = Interacción raza x finca

Las variables respuesta son:

- Costo de producción unitario por litro de leche.
- Costo de producción por kg de proteína láctea.
- Rentabilidad por hectárea.
- Relación leche-concentrado.
- Costo variable por litro de leche.

Resultados

Como se evidencia en la tabla 1, el costo de producción de la raza Holstein fue \$ 153 pesos inferior con respecto al de la raza Jersey, el cual fue el costo de producción más elevado.

Tabla 1

Relación entre las razas y las distintas variables respuesta

	Jersey	Jerhol	Holstein
Costo de producción (\$/litro)	1071, 47a	968,83b	917,82b
Costo kg de proteína (\$/kg)	31444, 14a	29082, 64a	28938, 19a
Rentabilidad (\$/ha)	347247b	466227ab	564362a
Relación leche-concentrado	3, 78a	3, 73a	4,08a
Costos variables (\$/litros)	664, 83a	692, 77a	642, 50a

Nota. Elaboración propia.

El costo de kilogramo de proteína en la raza Jersey estuvo \$ 2505 pesos por encima con respecto a la raza Holstein y \$ 2361 con respecto a la raza Jerhol.

En cuanto a la variable rentabilidad por hectárea, la raza Holstein obtuvo una rentabilidad importante ya que es un 39 % superior en comparación con la raza Jersey; también es un 18 % mayor que la raza Jerhol.

Las fincas con razas Jersey y Jerhol suplementaron 300 y 350 gramos más por litro de leche, respectivamente, en comparación con las fincas con raza Holstein.

Los costos variables por litro de leche en la raza Holstein estuvieron \$ 50 pesos por debajo de la raza Jerhol y \$ 22 pesos por debajo de la raza Jersey.

Tabla 2

Relación entre las zonas y las distintas variables respuesta

	Oriente	Entrerriós	San Pedro
Costo de producción (\$/litro)	1100, 53 _a	885,71 _c	971,88 _b
Costo kg de proteína(\$/kg)	32781, 81 _a	26362,14 _c	30321,03 _b
Rentabilidad (\$/ha)	374463,5 _b	645056, 2 _a	358318,2 _b
Relación leche-concentrado	4,06 _a	3, 76 _a	3, 78 _a
Costos variables (\$/litros)	676, 41 _a	644,02 _a	679, 66 _a

Nota. Elaboración propia. Los subíndices a, b y c indican diferencias significativas entre las zonas para cada variable analizada. El subíndice a identifica el valor más alto, b representa un valor intermedio, y c el más bajo. Por ejemplo, en el costo de producción, Oriente tiene el valor más alto (a), San Pedro un valor intermedio (b) y Entrerriós el más bajo (c), reflejando diferencias estadísticamente significativas.

Como se evidencia en la tabla 2, el costo de producción de la zona de Entrerriós fue \$ 214 pesos inferior con respecto al de la zona del Oriente, el cual fue el costo de producción más elevado.

El costo de kilogramo de proteína en la zona del oriente estuvo \$ 2460 por encima con respecto a la zona de San Pedro y \$ 6419 con respecto a la zona de Entrerriós.

En cuanto a la variable rentabilidad por hectárea, la zona de Entrerriós obtuvo una rentabilidad importante, estando superior en un 42 % en comparación con la zona de oriente, y en un 45 % en comparación con la zona de San Pedro.

Las fincas de las zonas de San Pedro y Entrerriós suplementaron 280 y 300 gramos más por litro de leche respectivamente, que las fincas de la zona del Oriente.

Los costos variables por litro de leche en la zona de Entrerriós estuvieron \$ 35 pesos por debajo con respecto a la zona de San Pedro de los Milagros y \$ 32 pesos por debajo con respecto a la zona del Oriente.

Discusión

El costo de producción de la raza Holstein fue el menor frente a la raza Jersey y Jerhol, esto se debe a que en la investigación realizada, la raza obtuvo mayores volúmenes de producción, siendo consecuente con investigaciones realizadas, las cuales la posicionan como la raza más lechera del mundo (Contexto Ganadero, 2020); esto conlleva a que el productor tenga mayores ingresos por volúmenes de leche y así diluir sus gastos, lo anterior se evidencia en una baja en el costo de producción por litro de leche.

Gráfica 1

Relación entre raza y rentabilidad



Nota. Elaboración propia.

Pese a que los sólidos totales por litro de leche de la raza Jersey son superiores a los de la raza Holstein y Jerhol (Asojersey, 2019), en el análisis realizado, la raza con menor costo de kilogramo de proteína láctea fue la Holstein, debido a que logra producir más kilogramo de proteína gracias a que su promedio de producción diaria es mayor. Esto se refleja en la obtención de mejores ingresos por esta variable en comparación con las otras dos razas evaluadas, lo que hace que sus gastos por kilogramo de proteína sean \$ 2505 pesos menores.

La raza Holstein tiene una rentabilidad por hectárea superior (\$ 98 135 pesos, con respecto a la raza Jerhol), debido a sus altos volúmenes de producción, teniendo un rendimiento sobresaliente en un área determinada. Dentro de las evaluaciones que se hicieron en la raza Holstein, la rentabilidad por hectárea estaba en un 39 % por encima de los volúmenes de producción por hectárea de la raza Jersey. Además, según Salas (1995), la rentabilidad por hectárea en las fincas ganaderas es un factor productivo que permite tener ingresos reales según la superficie de tierra donde se está ejerciendo la producción lechera. Esto está relacionado con el hecho de que con los animales con mayores volúmenes de producción se obtendrá un mejor retorno de la inversión, mejorando así la rentabilidad por hectárea (Contexto ganadero, 2019).

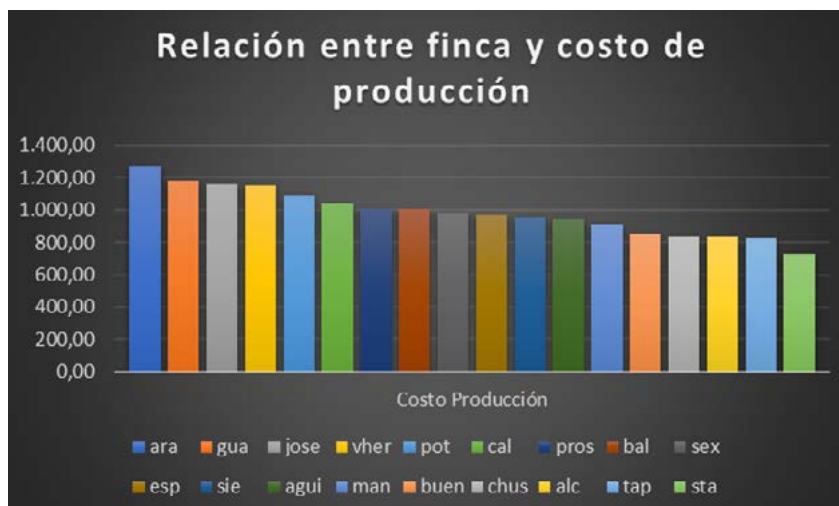
La raza Holstein tuvo la mejor relación leche-concentrado, lo que es consecuente con el costo de producción que se obtuvo en la investigación, ya que el costo de alimentación es uno de los

rubros con mayor porcentaje de participación en los gastos totales de las empresas ganaderas (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2010); esta raza obtuvo la mejor conversión de alimento balanceado a leche, teniendo una relación de cuatro a uno, siendo más eficiente que la raza Jersey y Jerhol que necesitaron más cantidad de alimento balanceado para su producción de leche.

Los costos variables por litro de leche fueron inferiores en las fincas con raza Holstein, esto es consecuente con la investigación realizada, donde las fincas con esta raza tuvieron el costo de producción total más bajo; a pesar de que los costos variables pueden tener gran significancia en el costo de producción total, teniendo el mayor porcentaje de participación en los gastos que conlleva producir un litro de leche, dentro de los cuales se encuentran la alimentación y el manejo de praderas (Jaramillo & Areiza, 2012), en esta investigación no tuvo mucha significancia, ya que lo que más influyó en la rentabilidad por hectárea fueron los volúmenes de leche producidos en un área determinada.

Gráfica 2

Relación entre finca y costo de producción



Nota. Elaboración propia.

La zona del Oriente tiene un costo de producción superior debido al alto costo de la mano de obra, los servicios públicos y el impuesto predial. Esto ha resultado en que, según las evaluaciones realizadas en la zona del oriente, los costos de producción estuvieran \$ 214 pesos por encima de la zona de Entreríos. Según UNAL Medellín (1995), los costos de los servicios públicos y el impuesto predial en la zona del Oriente son crecientes, estimulados por la urbanización, la industrialización y el acelerado incremento de la adquisición de fincas de recreo que ocupan áreas de producción tradicionalmente campesinas.

Existen múltiples factores que influyen sobre la variación de porcentajes de sólidos totales producidos por litro de leche, tales como raza, oferta de forraje, calidad de pasto,

suplementación, producción de leche y etapa de lactancia (Saborío-Montero, 2011). En la investigación, la zona no influyó de manera significativa en los porcentajes de sólidos por litro de leche, sin embargo, el costo de producción de un kilogramo de proteína láctea sí tuvo una influencia alta en la zona que se produjo debido al bajo costo de producción que tuvo la zona de Entreríos, lo que hace que producir un kilogramo de proteína láctea tenga una disminución de \$ 6419 pesos con respecto a la zona del Oriente.

Pese a que los manejos productivos y promedios de producción de leche de las fincas evaluadas fueron similares, la zona de Entreríos tiene una rentabilidad por hectárea de \$ 645 056, lo que representa un incremento de \$270 593 con respecto a zona

del Oriente. Esto se debe a que en Entrerriós se maneja una carga animal por hectárea mayor en comparación con las otras dos zonas evaluadas, esto permite que haya un mayor aprovechamiento del total de la tierra que se posee y así tener una rentabilidad por hectárea hasta un 45 % más que la zona de San Pedro de los Milagros. Además, según Sánchez (2002), la rentabilidad se refiere a la habilidad que tiene una empresa para generar un retorno económico neto con el uso de unos recursos o activos que se poseen en particular.

Este estudio concuerda con lo investigado por Lobos et al. (2001), quienes indicaron que, en fincas con altos niveles de producción, el costo de los alimentos concentrados es el más relevante. De igual forma (Arriaga et al., 1999), (Espinoza et al., 2005), (Pedraza-Beltrán et al., 2012) reportaron que los mayores costos para los sistemas de producción de leche están asociados a la compra de alimentos y especialmente de concentrados. Dentro de las evaluaciones realizadas en la totalidad de las fincas, el rubro que tuvo más participación dentro de los costos totales fue la alimentación, pero entre las zonas evaluadas fue muy similar la relación leche-concentrado, lo que no impactó drásticamente la rentabilidad por hectárea y el costo de producción por litro de leche.

A pesar de que no hubo una diferencia significativa en los costos variables por litro de leche entre las zonas evaluadas, en la investigación, la zona de Entrerriós obtuvo el costo variable más bajo debido al aprovechamiento en unidad de superficie, esto hace que se disminuyan algunos

costos variables como los fertilizantes y la suplementación; también conlleva a que haya mayores volúmenes de producción por hectárea (Henao, 2011).

Conclusiones

- Los resultados del presente estudio permiten concluir que la raza Holstein fue la que obtuvo un menor costo de producción por litro de leche, además de una mayor rentabilidad por hectárea debido a sus altos volúmenes de producción diarios, lo que ayuda a diluir los costos de producción.
- La zona de Entrerriós fue en la que se obtuvo una mejor rentabilidad por hectárea debido a que presentó una mayor carga animal por hectárea, asimismo, los costos variables estuvieron por debajo en comparación con las zonas de Oriente y San Pedro de los Milagros.
- La finca más rentable está ubicada en la zona de Entrerriós, la cual cuenta con animales de la raza Holstein y tuvo el menor costo de producción de las 18 fincas evaluadas.
- Las variables que más influyeron en los costos de producción total y en la rentabilidad por hectárea fueron la alimentación y los volúmenes de leche.
- A pesar de que los sólidos totales influyen directamente en el pago de la leche, resulta más rentable producir mayores volúmenes de leche con una mediana calidad, ya que se obtienen mayores kilogramos de grasa y de proteína.

Referencias

- AIPL (2006). *Genetic and phenotypic trend*. Animal Improvement Programs Laboratory <http://aipl.arsusda.gov/eval/summary/trend.cfm>
- Arriaga J., Espinoza O., Albarrán P. y Castelán O. (1999). Producción de leche en pastoreo de praderas cultivadas: una alternativa para el altiplano central. *Ciencia Ergo Sum* 6, 290-300. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401610>
- Aso Jersey (2019). *Bondades de la raza*. <http://www.asojersey.com/la-raza-jersey/bondades-de-la-raza/>
- Atehortúa, G. y Osorio, L. (2008). Análisis de Costeo para un sistema de producción de lechería especializada "Un acercamiento al análisis económico en ganadería de leche": Estudio de caso. *Dyna*, 75(155), 37-46. <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-208-2.cap.03>
- Bailey K., Jones, C. and Heinrichs, A. J. (2005). Economic Returns to Holstein and Jersey Herds Under Multiple Component Pricing. *Journal of Dairy Science*, 88 (6), 2269–2280. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)72903-9](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)72903-9)
- Colin, J. (1991). Análisis técnico y económico de la producción de leche en el fundo Punahue [Tesis de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(13\)130-139](https://doi.org/10.18684/bsaa(13)130-139)
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). (2010). Política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano (Documento CONPES 3675). Departamento Nacional de Planeación, República de Colombia. Disponible en <https://www.minagricultura.gov.co>
- Contexto ganadero. (2019). *Los factores que definen la rentabilidad ganadera*. FEDEGAN. <https://www.contextoganadero.com/blog/los-factores-que-definen-la-rentabilidad-ganadera>
- Echeverri, J., Salazar, V., & Parra, J. (2011). Análisis comparativo de los grupos genéticos Holstein, Jersey y algunos de sus cruces en un hato lechero del Norte de Antioquia en Colombia. *Zootecnia Tropical*, 29(1), 49-59.
-

-
- Espinoza, O., Álvarez, M., Valle M., Chauveted, M. (2005). La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Técnica Pecuaria México* 43, 39-56.
- Fedegan. (2014). *Estadísticas* [en línea]. <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0> (consultado el 21 de junio de 2016).
- Henao, D. (2011). Costos de producción de un litro de leche. [Trabajo de grado]. Corporación Universitaria Lasallista.
- Hausdorf, S. (1992). Estudio económico de casos prediales de producción lechera en la zona central. [Tesis de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Austral de Chile.
- Holmann, F. (1998). Evaluación económica de sistemas de producción de leche en el trópico. En L. Vaccaro & A. Pérez (Eds.), *El desarrollo de la producción de leche en América Latina tropical. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal (ALPA)*, 6(Supl. 1), 19-31.
- Jaramillo A. R., Areiza A. M. Análisis del mercado de la leche y derivados lácteos en Colombia (2008-2012).
- La República (2015). *La clave del crecimiento está en la jerhol*. <https://www.larepublica.co/empresas/la-clave-del-crecimiento-esta-en-la-jerhol-2235366>
- Lobos A., Soto, R., Zenteno, F. y Prizant, S. (2001) Análisis de la eficiencia y rentabilidad económica en dos lecherías en la región del Maule, Chile. *Agricultura Técnica* 61, 367-378.
- Salas, L. (1995). Situación actual y perspectivas del sector lechero. Universidad de la Frontera. *Revista Frontera Agrícola*, 3 (1), 81-88.
- Sánchez Ballesta, J. P. (2002). *Análisis de rentabilidad de la empresa* [en línea]. 5campus.com, Análisis contable. <http://www.5campus.com/leccion/anarenta>
- Ordóñez, J. (2002). *Evaluación económica de sistemas de producción de leche*. XI Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal, Valera, estado Trujillo. <https://doi.org/10.13140/2.1.1826.5609>
- Pedraza-Beltrán, P., Estrada-Flores, J., Martínez-Campos, R., Estrada-López, I., Rayas-Amor, A., Yong-Angel, G., Figueroa-Medina, M., Avilés Nova, F., & Castelán-Ortega, O. (2012). On-farm evaluation of the effect of coffee pulpsupplementation on milk yield and dry matter intake of dairy cows grazing tropical grasses in Central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 44, 329-336.
-

Tamayo, G., Rodríguez, L., vasco, C., & Escobar, J. A. (2008). Efecto de la aplicación del Sistema de Gestión de Calidad en la Cadena Productiva de Leche. El Caso de Tuntataco, Chimborazo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 3(2), 130-139.

Universidad Nacional de Colombia (1995). *Plan Regulador para el Ordenamiento y Desarrollo Turístico en las subregiones de embalses de Rionegro- Nare y del altiplano en el oriente antioqueño. Diagnóstico y proposiciones*. UNAL.

Efecto de la inclusión del propionato de calcio en la dieta de ovinos sobre el consumo y la digestibilidad aparente*

Effect of the inclusion of calcium propionate on productive parameters and apparent digestibility in sheep

***Estefanía Arbeláez Arango¹, Henry Alzate Quintero²,
Sebastián Montoya Uribe³ y Carlos Santiago Escobar Restrepo⁴***

1 Semillero Ruminaceae (UCO). Correo: estefis-11@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1248-1812>.

2 Semillero Ruminaceae (UCO). Correo: henryaquintero92@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7903-4455>.

3 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: smontoya@uco.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1313-2319>.

4 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: csescobar@ces.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3955-484X>.

* Trabajo derivado de los grupos de investigación Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia (GIAZ), Universidad Católica de Oriente, Sector 3, Cra. 46 No. 40B-50, Rionegro, Antioquia, Colombia; Grupo de Investigación INCA-CES, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES, Cl. 10A No. 22-04, Medellín, Antioquia, Colombia. Autor correspondiente: csescobar@ces.edu.co

Resumen

Con el fin de buscar fuentes de energía alternativas, se ha optado por utilizar precursores glucogénicos, entre estos está el propionato de calcio que es usado como suplemento en la dieta de los rumiantes. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inclusión del propionato de calcio en la dieta de los ovinos. Se utilizaron un total de seis hembras ovinas, con un peso promedio (PV) de 26 ± 4 kg. Se evaluaron dos tratamientos siguiendo un diseño en Crossover, el primer tratamiento sin propionato de calcio (PrCa) o Control y el segundo con PrCa a razón del 4 % del peso vivo. La base forrajera era King Grass (*Pennisetum purpureum Schumacher*) administrada *ad libitum*. Las

variables evaluadas fueron el consumo de materia seca (MS), de materia orgánica (MO) y proteína bruta (PB). Además, se determinó la digestibilidad aparente (DA) de la MS, MO y PB. Los datos fueron analizados a partir de la prueba *t-student* con un α 0.05. Se encontró que la inclusión de PrCa tendió a aumentar el consumo de MS ($p < 0,053$) y aumentó el consumo de PB. A su vez, mejoró la DA de la PB. En conclusión, el nivel de inclusión de PrCa utilizado en el presente estudio tuvo un efecto significativo en las variables de consumo de materia seca y digestibilidad en la proteína bruta. Sin embargo, contrario a esto, no se observó un efecto en la digestibilidad de la materia orgánica y en la materia seca.

Palabras clave

Aditivos, Colecta Total, Nutrición, Rumen.

Abstract

To explore alternative energy sources, glucogenic precursors have been considered, including calcium propionate, which is used as a dietary supplement for ruminants. The objective of this study was to evaluate the effect of including calcium propionate in the diet of sheep. A total of six female sheep with an average body weight (BW) of 26 ± 4 kg was used. Two treatments were evaluated following a crossover design: the first treatment without calcium propionate (CaPr) or Control, and the second with CaPr at 4 % of body weight. The forage base consisted of King Grass (*Pennisetum purpureum Schumacher*) offered

ad libitum. The variables assessed included dry matter (DM), organic matter (OM), and crude protein (CP) intake. Additionally, the apparent digestibility (AD) of DM, OM, and CP was determined. Data were analyzed using the *student's t-test* with an α of 0.05. The inclusion of CaPr tended to increase DM intake ($p < 0.053$) and significantly increased CP intake. It also improved the AD of CP. In conclusion, the level of CaPr inclusion used in this study had a significant effect on dry matter intake and crude protein digestibility. However, no effect was observed on the digestibility of organic matter or dry matter.

Keywords

Additives, Total Collection, Nutrition, Rumen.

Introducción

El creciente aumento de la población humana, los avances de los sistemas de producción pecuaria y la demanda de granos para la alimentación de animales es cada vez mayor. La FAO reportó que a partir del año 2008 el incremento en el valor de los insumos alimenticios utilizados para la producción animal ha sido superior al 200 %, lo que ha generado un impacto significativo en los costos de producción (FAO, 2014). Por este motivo es necesario buscar fuentes de energía no convencionales como es el uso de precursores glucogénicos, tales como el glicerol, propilenglicol y el propionato de calcio usado en la alimentación como suplemento en la dieta de los rumiantes (Rangel, 2011).

Los ovinos no solo sirven para la producción de lana, ya que hoy en día se ha desarrollado toda una industria alrededor de este tipo de ganado. Antes se creía que la crianza de ovinos era propia del trópico bajo, teoría que ha sido desmitificada con el paso del tiempo y con los estudios realizados. En la actualidad, las principales zonas productoras de carne de ovinos en el trópico bajo colombiano son Cesar, Sucre, Santander, Tolima, Córdoba y La Guajira, mientras que en el trópico alto son Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca. Cada una de estas zonas cuenta con una participación

significativa en la crianza y producción del ganado ovino que se ha sido orientado hacia la línea cárnica (Bedoya, 2019).

El sector ovino sigue ganando adeptos en diversas regiones del país, su adaptación a zonas adversas y extremas, fertilidad, rendimiento, economía y la demanda existente en los mercados nacionales e internacionales, han convertido a los ejemplares en un objetivo interesante para los productores que ven en las especies menores una alternativa comercial interesante y rentable. Adicionalmente, la diversidad de climas con las que cuenta el departamento de Antioquia también favorece la adaptabilidad y rendimiento de este ganado y gracias a la construcción de algunas comercializadoras importantes, así como la habilitación por parte de una empresa como Colanta de una planta para el faenado de la especie ha favorecido el incremento del hato de ovinos y los sistemas de producción (Ganadero, 2023).

La inclusión de minerales en las dietas de los animales de producción, en este caso de los ovinos, es una práctica cada vez más común debido a que ofrece múltiples beneficios en la salud del animal y una mayor calidad en los subproductos obtenidos de este. El propionato de calcio es una fuente notable de este

mineral junto al ácido propiónico, que es un ácido graso de cadena corta que se produce naturalmente en el rumen de los ovinos durante la fermentación de los carbohidratos; la adición de esta fuente puede mejorar la digestión y absorción de nutrientes, así como reducir la incidencia de trastornos metabólicos como cetosis y acidosis ruminal. También se ha demostrado que el propionato de calcio mejora la calidad de la leche, la carne y la lana en las ovejas (Yors, 2018).

Es importante tener en cuenta que la inclusión de propionato de calcio debe ser controlada, ya que el exceso puede causar efectos negativos en la salud de los ovinos como hipercalcemia, además de esto, se buscan estrategias que mejoren la conversión alimenticia con una adecuada aplicación de las buenas prácticas de manejo con la inclusión de aditivos.

En conclusión, es indispensable que los sistemas de producción pecuarios sean eficientes y sostenibles. Además, es necesario buscar alternativas de alimentación animal e implementar técnicas que mejoren la producción de lana, carne y leche con un valor agregado de alta calidad gracias a los minerales adicionados y que reduzcan los costos.

Materiales y métodos

Localización

El trabajo se llevó a cabo en la subregión del oriente de Antioquia, específicamente

en el municipio de El Carmen de Viboral en la zona rural del municipio (vereda Betania), geográficamente ubicada en las coordenadas 6°04'15" de latitud Norte y 75°18'56" de longitud oeste, con altitud de 2183 msnm y una temperatura que oscila entre los 18 y 20 °C, clasificada en zona de vida BS-MB (Bosque Seco Montano Bajo) (Holdridge, 1967). Se contó con seis (6) corrales aproximadamente de 1,8 metros de largo por 1 metro de ancho; cada corral contó con comedero y bebedero individual.

Dietas y animales

El periodo experimental tuvo una duración de 30 días, separados en dos periodos de 15 días: inicialmente diez (10) días de adaptación a la dieta y cinco (5) de medición. Se emplearon seis (6) hembras ovinas cruzadas con la raza Dorper de 26 ± 4 kg de peso vivo inicial, alojadas en corrales individuales. Los animales fueron sometidos a un plan sanitario al inicio de la fase experimental que consistió en la desparasitación (*Fencob*® al 25 % en una dosis de 2.5 ml/animal). Los animales se distribuyeron siguiendo un diseño en crossover, con dos tratamientos. El tratamiento 1 (Control) consistió en King Grass (*Pennisetum purpureum Schumacher*) *ad libitum* y 15 gramos de harina de maíz animal/día; el tratamiento 2 es igual a la dieta control, pero adicionando 4 % de propionato de calcio/peso vivo animal mezclado con la harina de maíz. El consumo *ad libitum* de pasto se garantizó calculando diariamente el consumo considerando un 15 % de rechazo.

Las variables evaluadas fueron el consumo de materia seca (CMS), las cuales fueron obtenidas al pesar diariamente el alimento ofrecido y el alimento rechazado.

Se determinó la digestibilidad aparente (DA) de la MS, Materia Orgánica (MO), Proteína bruta (PB) y cenizas (Ce). La prueba de DA se realizó una vez finalizado el período de adaptación al tratamiento experimental y tuvo una duración de cinco días.

El consumo de materia seca (CMS) se obtuvo por diferencia entre la oferta y el rechazo. Muestras del alimento ofertado y rechazado por cada animal fueron diariamente colectadas y almacenadas a -10 °C, obteniendo al final una muestra compuesta para su posterior caracterización nutricional.

La producción de MS fecal se determinó mediante el procedimiento de colecta total de heces. Se tomaron muestras de heces diariamente, por la mañana y por la tarde; fueron colectadas y almacenadas a -10 °C. Al término de los cinco días se obtuvo una muestra compuesta por animal para su posterior análisis químico.

La digestibilidad aparente (DA) de la materia seca y de los nutrientes se obtuvo a través de la ecuación $DA (\%) = [(Nutriente\ consumido, g - Nutriente\ en\ las\ heces, g) / Nutriente\ consumido, g] * 100$. Las muestras se presecaron en estufa de ventilación forzada (60°C/ 72 h). Posteriormente, se procesaron en un molino estacionario Thomas-Wiley con tamiz de 1 mm (Arthur M. Thomas,

Philadelphia, PA, USA) para su posterior análisis de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína bruta (PB) (AOAC, Official Methods of Analysis, 2005) (AOAC, Official Methods of Analysis, 2007).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron a partir de la prueba de t-student empleando un nivel de significancia del 5 %. Previo al análisis se revisaron los supuestos de normalidad por la prueba de Shapiro-Wilk, y homogeneidad de varianza con la prueba de Levene. Cuando no se cumplían los supuestos de normalidad se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Se utilizó el programa *Past versión 4.1*.

Resultados

Como se observa en la Tabla 1 los parámetros que fueron significativos ($P < 0,05$) son la MS fecal y proteína bruta (PB), también se observa que en el tratamiento al que se le adicionó PrCa obtuvo 3,5 kg de peso más que los ovinos en el tratamiento control, al igual que el aumento del consumo de MS.

Con respecto al aumento de los parámetros se observa que en la tabla 1 incrementaron con el propionato de calcio, el consumo de MS en un 33,13 %, la MO en un 11,1 % y la PB en 60,48 %; en comparación al tratamiento control.

Tabla 1

Efecto de la inclusión de propionato de calcio sobre el consumo de materia seca y nutrientes en ovinos

	Tratamiento ²		Valor de p ¹
	Control	PrCa	
Peso promedio (kg)	30,5	33,0	----
Consumo³			
MS (g)	328,25	490,88	0,05335
MS (%PV)	1,08	1,49	0,4817
MO (g)	350,19	394,02	0,5848
MS fecal (g)	55,95	85,88	0,03224
PB (g)	35,85	90,72	1,056E-0,5

Nota. ¹P-values menores de 0,05 indican diferencia estadística entre columnas. ²PrCa, Propionato de calcio. Cada valor corresponde a la media de 6 animales. ³MS, materia seca total; MO, materia orgánica; PB, proteína bruta.

En la Tabla 2, el parámetro que presentó diferencias significativas fue la DA de la PB, sin embargo, en la dieta con adición de PrCa también hubo mayor digestibilidad en la materia seca que en el tratamiento control de manera numérica, mas no estadística.

Con respecto al aumento de los parámetros se observa que en la tabla 2 incrementaron, con el PrCa, la MS en un 4,13 % y la PB en un 5,34 %; por el contrario, en el tratamiento control la MO obtuvo un incremento de un 4,46 % con respecto a la dieta de PrCa.

Tabla 2

Efecto de la inclusión de propionato de calcio sobre la digestibilidad aparente de materia seca y nutrientes en ovinos

Digestibilidad aparente (%) ³	Tratamiento ²		Valor de p ¹
	Control	PrCa	
MS	78,81	82,21	0,2308
MO	82,11	78,45	0,2623
PB	88,14	93,12	0,01631

Nota. ¹P-values menores de 0,05 indican diferencia estadística entre columnas. ²PrCa, Propionato de calcio. Cada valor corresponde a la media de 6 animales. ³MS, materia seca total; MO, materia orgánica; PB, proteína bruta.

Discusión

Teniendo en cuenta las diferencias entre los consumos tanto de MS, como PB entre los tratamientos la adición de PrCa incrementó el consumo de estos nutrientes. Este resultado no se sustenta únicamente en los datos mencionados, sino que también encuentra respaldo en la similitud de la cantidad de forraje suministrado a ambos grupos (1068,4 vs. 1042,3 g para control y PrCa, respectivamente). Resultados contrastantes se evidencian en el estudio de (Lee-Rangel et al., 2012), donde utilizaron PrCa en borregos a una concentración del 1 % de MS y no hubo diferencia en el consumo. Similarmente, en vacas lecheras se evaluó 0, 100, 200 y 300 g de PrCa y no hubo influencia alguna sobre el consumo de MS (Liu et al., 2009). En este último estudio las vacas consumieron a razón de 0,016; 0,032 y 0,048 % de PrCa como porcentaje de peso vivo. (Lee-Rangel et al., 2018), a su vez, no encontró diferencias en el consumo de corderos, suministrando 0, 30, 35 y 40 g/kg MS de PrCa. Por otro lado, Rather-Williams et al. (2021) encontraron en novillos que el aumento de PrCa disminuye el consumo de los animales. En este estudio utilizaron tres niveles crecientes de PrCa a razón de 0, 100 y 300 g por animal día, lo que corresponde a 0,04 % y 0,1 % del PV, valores menores a los utilizados en el presente estudio. Disminuciones en el consumo similares fueron reportados en vacas lecheras con cantidades de 200 y 300 g por vaca (Martins et al., 2019). En coherencia con lo encontrado en el presente estudio, McNamara

y Valdez (2005) demostraron que las vacas alimentadas con 125 g/d de propionato de calcio aumentaron su ingesta de materia seca en un 11 y 13 % en los grupos preparto y posparto, respectivamente, en comparación con el grupo de control que tenía 0 g de PrCa.

El consumo de materia seca en los rumiantes depende directamente del llenado y vaciado del rumen. El volumen ruminal a su vez depende de la solubilidad, fermentación, tasa de pasaje y tamaño de la partícula del material ingerido (Ørskov, 1995). El PrCa es un precursor del ácido propiónico en el rumen lo que puede aumentar a su vez la tasa metabólica de diferentes órganos, a su vez afectando el consumo (Rather-Williams et al., 2021). Al aumentar el consumo de materia seca, también se produce un aumento en los otros nutrientes en comparación a la dieta control. Adicional al aumento en el consumo, también el porcentaje de PB del pasto ofertado durante el periodo con PrCa fue mayor en comparación al control (PB: 18,4 y 11,8 %, PrCa vs. Control), así aumentado el consumo total de proteína.

La suplementación de PrCa tuvo un efecto positivo sobre la digestibilidad de la PB en comparación a la dieta control. Efectos similares fueron evidenciados en un estudio in vitro, donde la adición de PrCa no solo aumentó la producción de gas, sino que aumentó de 60,00 % a 64,53 % la digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS) (Osorio Teran et al., 2017). En otro estudio, en novillos fistulados, con adiciones de 0, 100, 200 y 300 g de PrCa, encontraron una

respuesta lineal y cuadrática de la fracción soluble ruminal, la tasa de degradación y la digestibilidad efectiva de la PB al aumento del PrCa (Liu et al., 2009). En búfalos las digestibilidades de la MS y MO no fueron afectadas por la inclusión de 335g de PrCa, sin embargo, la digestibilidad de la PB tendió a aumentar ($p < 0.05$) (El-Deen et al., 2019). Dichos estudios fueron coherentes con lo encontrado en el presente estudio. En contraste, Sheperd y Combs (1998) reportaron un aumento en las digestibilidades de MS y MO en un 8,3 % y un 8 % cuando el PrCa fue incluido, sin embargo, no reportaron aumento en la digestibilidad de la PB. Zhang et al. (2022) encontraron que la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el rumen aumentó de manera lineal con la inclusión de PrCa y la concentración de PB metabólica disminuyó, lo que indicó que se incorporó menos $\text{NH}_3\text{-N}$ ruminal en la PB metabólica, efecto que no ocurrió en el presente estudio, ya que la digestibilidad aparente de la PB va directamente relacionada con el aumento de la PB metabólica. El aumento sustancial en la digestibilidad de la PB de este estudio puede deberse a un aumento de la fermentación ruminal o utilización de la proteína por el rumen, quizá por aumento de poblaciones bacterianas específicas. Liu et al. (2009) indica que posiblemente hay un aumento en las poblaciones bacterianas que consumen amonio, especialmente las celulolíticas, cuando se suministra PrCa. A su vez, no solo la degradabilidad ruminal de la PB juega un papel importante sino también

la degradabilidad intestinal. Finalmente, Liu et al. (2009) encontró que con dosis altas de PrCa (300g) la fermentación ruminal disminuía, pero la digestibilidad aparente total aumentaba, concluyendo que quizá hay un efecto postruminal.

Conclusiones

La inclusión del propionato de calcio (PrCa) en una proporción del 4 % del peso vivo de los ovinos mostró un impacto positivo en el consumo de materia seca (MS) y en la digestibilidad aparente de la proteína bruta (PB). Estos resultados destacan la capacidad del PrCa para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, contribuyendo a un mejor desempeño productivo en sistemas de alimentación basados en forrajes tropicales. A pesar de las mejoras observadas en el consumo y digestibilidad de la proteína bruta, el PrCa no presentó efectos significativos en la digestibilidad aparente de la materia seca y la materia orgánica. Esto sugiere que su inclusión debe ser evaluada en combinación con otras estrategias de manejo alimenticio para optimizar el aprovechamiento total de los nutrientes.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al señor Jairo Arango Espinosa, propietario de la finca "Rosa Azulina" en El Carmen de Viboral, por proporcionarnos el espacio y los animales para la realización de la investigación.

Referencias

- Allen (2000). Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal Dairy Sci*, 1598-1524. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(00\)75030-2](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(00)75030-2)
- AOAC, I. (2005). *Official Methods of Analysis*. Gaithersburg, MD. Retrieved from <https://www.aoac.org/>
- AOAC, I. (2007). *Official Methods of Analysis*. Arlington, VA.
- Bedoya, M. P. (2019, Julio 31). *Agronegocios*. Universidad Católica de Oriente
- Blanco, M. D. (1999). El alimento y los procesos digestivos del Rumen. *Sitio Argentino de Producción Animal*. Retrieved from https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/70-alimentos_rumen.pdf
- El-Deen et al. (2019). (2019). Nutrient digestibility and blood constituents evaluation after oral administration of propylene glycol and calcium propionate in buffalo calves. *Journal of the Egyptian Veterinary Medical Association*, 79(2), 609-625.
- FAO. (2014). Evolución mundial del consumo de carne. *FAO*. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2018-graph7-es
- Ganadero, C. (2023, 03 01). *Contextoganadero*. <https://www.contextoganadero.com/regiones/ovinos-ganan-terreno-entre-productores-antioquenos>
- Holdridge, L. (1967). *Life Zone Ecology*. San Jose Costa Rica: Tropical Science Center.
- Lee-Rangel et al. (2012). Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Animal feed science and technology*, 237-241. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.08.012>
- Lee-Rangel et al. (2018). Efecto del propionato de calcio sobre el peso vivo, el consumo y la canal de corderos alimentados con heno de alfalfa (*Medicago sativa*). *Agrociencia*, 81-88. <https://doi.org/10.15517/nat.v13i1.37853>
-

- Liu et al. (2009). Efectos del propionato de calcio en la fermentación ruminal excreción urinaria de derivados de purina y digestibilidad de alimentos en novillos. *Revista de Ciencias Agrícolas*. <https://doi.org/10.35376/10324/48506>
- Liu et al. (2010). Effects of calcium propionate supplementation on lactation performance, energy balance and blood metabolites in early lactation dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 605-614. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00945.x>
- Martins et al. (2019). Calcium propionate increased milk parameters in Holstein cows. *Acta Scientiae Veterinariae*, 47. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.97154Mc>
- Namara and Valdez, (2005). Adipose tissue metabolism and production responses to calcium propionate and chromium propionate. *Journal of Dairy Science*, 2498-2507.
- Mendoza Martinez et al. (2016). Effect of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Animal Production Science*, 1194-1198.
- Oba and Allen (2003). Intraruminal infusion of propionate alters feeding behavior and decreases energy intake of lactating dairy cows. *Journal Nutr*, 133.
- Ørskov. (1995). *Ruminal physiology*. In Forbes, J.M., & France, J. (Eds.). *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Cambridge University press.
- Osorio Teran et al. (2017). Effect of calcium propionate and monensin on in vitro digestibility and gas production. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 348-353.
- Prado, G. d. (2014). Respuesta productiva, digestibilidad de los nutrientes y parámetros de fermentación ruminal en ovinos, recibiendo clorhidrato de zilpaterol. *Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México* .
- R A Zinn, F. N. (2002). Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal of animal science*, 15.
- Rangel, H. (2011). *Utilización de propionato de calcio en borregos*. Colegio de Post-graduados. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/480>
-

- Rathert-Williams et al. (2021). Effects of increasing calcium propionate in a finishing diet on dry matter intake and glucose metabolism in steers. *Journal of Animal Science*, 99.
- Rathert-Williams et al. (2021). Efectos del aumento del propionato de calcio en una dieta de acabado sobre la ingesta de materia seca y el metabolismo de la glucosa en novillos. *Revista de Ciencia Animal*, 99.
- Rathert-Williams et al. (2021). Effects of increasing calcium propionate in a finishing diet on dry matter intake and glucose metabolism in steers. *Journal of animal science*, 99.
- Sanz-Sáez et al. (2012). Alfalfa forage digestibility, quality and yield under future climate change scenarios vary with *Sinorhizobium meliloti* strain. *Journal of Plant Physiology*, 782-788.
- Shepherd y Combs. (1998). Long-term effects of acetate and propionate on voluntary feed intake by midlactation cows. *Journal of Dairy Science*, 2240-2250.
- Thompson, M. (1992). Adrenergic control of motor and secretory function in the gastrointestinal tract. *Aliment Pharmacol*, 125-142.
- Yors, J. F. (2018, 06). Efecto de adición de propionato de calcio en la digestibilidad de ovinos en finalización. *Universidad autónoma del estado de México*. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/94733>
- Zhang et al. (2022). Calcium propionate supplementation has minor effects on major ruminal bacterial community composition of early lactation dairy cows. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.847488>
-

Evaluación de la condición corporal de las cerdas durante la lactancia y su efecto sobre el tamaño y peso de la camada

Evaluation of the body condition of sows during lactation and its effect on the size and weight of the litter

Mateo Marín Alzate¹ y Carlos Leonardo Guerra-Marín²

1 Estudiante de pregrado en Zootecnia Universidad Católica de Oriente. Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5850-2957>.

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

Resumen

La producción porcina en Colombia ocupa un lugar muy importante dentro del PIB, con una participación del 1,4 % del PIB agropecuario, y 4,8 % del PIB pecuario, siendo las principales zonas productoras: Antioquia (45 %), Cundinamarca (18,1 %) y Valle del Cauca (15 %). Durante los últimos años se ha venido mejorando la producción porcina en el país para ofrecer al mercado un producto de alta calidad nutricional y sanitaria, y que a su vez sea rentable. La evaluación de la condición corporal (CC) es un sistema que clasifica las cerdas según apreciaciones visuales. Existe una alta correlación entre el porcentaje de grasa y la condición corporal; la condición corporal brinda información valiosa para el análisis de los índices reproductivos y ayuda a interpretar y evaluar pautas de alimentación y su impacto en parámetros zootécnicos. Los parámetros e indicadores reproductivos en cerdas son fundamentales para la rentabilidad y eficiencia de la empresa porcina ya que de esto depende el futuro de la explotación, algunos de los parámetros e índices reproductivos son: edad al primer servicio, lechones nacidos totales, lechones nacidos vivos, lechones nacidos

muechos, lechones destetados por camada, número de lechones destetados/cerda/año, intervalo entre partos, intervalo destete-celo, etc. El estudio se realizó en la granja Villa Angela de la empresa Jaibu, ubicada en el municipio de Rionegro- Antioquia, vereda Ojo de Agua, Las mediciones de la condición corporal se realizaron en diferentes puntos de la lactancia de las hembras: Al momento de la inseminación artificial, a los 30, 75 y 113 días del parto. Los datos de las camadas fueron tomados al momento del parto; para realizar el estudio, se utilizaron 160 hembras activas de la línea *Camborough* 1050. Los resultados del análisis de componentes principales fueron contundentes, el promedio de nacidos vivos por camada es de 13.71, y la mediana de 14 lo que está dentro de las especificaciones de la línea genética; la media del peso total de la camada (18.94 kg) corresponde y coincide al tamaño de camada promedio; el peso promedio de cada lechón fue de 1.40 kg, se notan relaciones estrechamente positivas entre condición corporal medidas en diferentes momentos de la gestación, entre los nacidos vivos (NV), nacidos totales (NT) y peso total de la camada.

Palabras clave

Porcicultura, Peso de la camada, Orden de parto, Condición corporal, Nacidos vivos, Nacidos totales.

Abstract

Pig production in Colombia occupies a very important place within the PIB, with a participation of 1.4 % of the agricultural PIB, and 4.8 % of the livestock PIB, being the main producing areas: Antioquia (45 %), Cundinamarca (18.1 %) and Valle del Cauca (15 %). During the last years, the pig production in the country has been improving in order to offer the market a product of high nutritional and sanitary quality, and that at the same time is profitable. The evaluation of body condition (BC) is a system that classifies sows according to visual appreciations; there is a high accumulation between body fat % and body condition; body condition provides valuable information for the analysis of reproductive indexes and help to interpret and evaluate feeding patterns and their impact on zootechnical parameters, reproductive parameters and indicators in sows are fundamental for the profitability and efficiency of the swine enterprise since the future of the farm depends on this. Some of the reproductive parameters and indexes are: age at first service, total piglets born, piglets born alive, piglets born dead, piglets weaned per litter, number of piglets weaned/sow/year,

farrowing interval, weaning-estrus interval, etc. The study was conducted at the Villa Angela farm of the Jaibu company, located in the municipality of Rionegro- Antioquia, Ojo de Agua village. The measurements of body condition were taken at different points of the lactation of the females: at the time of artificial insemination, at 30, 75 and 113 days after parturition. Litter data were taken at the time of parturition; 160 active females of the *Camborough* 1050 line were used for the study. The results of the principal component analysis were conclusive, the average number of live births per litter was 13.71 and the median was 14, which is within the specifications of the genetic line; the mean of the total weight of the litter (18.94 kg) corresponds and coincides with the specifications of the genetic line (94 kg) corresponds and coincides with the average litter size; the average weight of each piglet was 1.40 kg, there are probably positive relationships between body conditions measured at different times of gestation, between live births (LB), total births (TL) and total litter weight.

Keywords

Swine, Litter Weight, Calving Order, Body Condition, Live Births, Total Births.

Introducción

En Colombia, la producción porcina ocupa un lugar muy importante dentro del PIB, con una participación del 1,4 % del PIB agropecuario, y 4,8 % del PIB pecuario; además, para el 2019 se presentó una producción de 410 270 toneladas de carne de cerdo, siendo las principales zonas productoras Antioquia (45 %), Cundinamarca (18.1 %) y Valle del Cauca (15 %). (Minagricultura, 2019). A su vez, este sector genera 135 000 empleos directos, y el consumo per cápita de la carne de cerdo es uno de los más altos. En la actualidad, el promedio es 10,3 kg per cápita (Porkcolombia, 2019). Estas cifras demuestran el crecimiento y el impacto que tiene la industria porcina en la economía colombiana.

Por esta razón, durante los últimos años se ha venido mejorando la producción porcina en el país para así ofrecer al mercado un producto de alta calidad nutricional y sanitaria, y que a su vez sea rentable; estos avances han generado que la capacidad de producción de las cerdas sea alta 27,4 lechones cerda/ año (Porkcolombia, 2018). Además de la capacidad de producción de las hembras, esta misma prolificidad que poseen las nuevas líneas de reproductoras porcinas hacen que los lechones presenten un bajo peso y que sean menos viables al nacimiento (Wientjes et al., 2012).

Otros estudios importantes han encontrado una relación e impacto significativo de la condición corporal sobre parámetros

productivos cruciales para la rentabilidad, como el tamaño y el peso de la camada, entre otros. La evaluación de la condición corporal (CC) es un sistema que clasifica a las cerdas según apreciaciones visuales, y existe una alta correlación entre el porcentaje de grasa y la condición corporal. La condición corporal proporciona información valiosa para el análisis de los índices reproductivos y ayuda a interpretar y evaluar pautas de alimentación y su impacto en parámetros zootécnicos. La CC es muy fácil de medir en condiciones comerciales, pero su principal crítica es la "subjetividad" (Fitzgerald et al., 2009).

Existen varios métodos para determinar la condición corporal. Uno de ellos es la puntuación de la condición corporal, donde los valores van de 1 a 12 para una cerda muy delgada, de 13 a 15 para una cerda con condición óptima, y de 16 a 20 para una cerda muy grasa, siendo el valor óptimo entre 13 y 14,5. Otro método es la determinación de la grasa dorsal mediante ultrasonido y el peso de la cerda, que puede estimarse midiendo de flanco a flanco con una simple cinta métrica (Rincón, 2023).

Por otro lado, los parámetros e indicadores reproductivos en cerdas son fundamentales para la rentabilidad y eficiencia de la empresa porcina, ya que de esto depende el futuro de la explotación. Algunos de los parámetros e índices reproductivos incluyen la edad al

primer servicio, lechones nacidos totales, lechones nacidos vivos, lechones nacidos muertos, lechones destetados por camada, número de lechones destetados por cerda por año, intervalo entre partos e intervalo destete-celo, entre otros (Agroproyectos, 2023).

Una producción eficiente depende de factores tales como la salud, la alimentación y la genética para obtener el máximo potencial reproductivo. Asimismo, es necesario considerar en conjunto las etapas de gestación y lactación, ya que cualquier alteración en alguna de estas etapas puede afectar los rendimientos de la cerda y la camada, trayendo como consecuencia problemas reproductivos como bajo tamaño y peso de la camada al nacimiento, intervalos entre partos muy amplios y bajos porcentajes de preñez. Esta situación se convierte en el problema principal a resolver, ya que la condición corporal de la cerda y su alimentación están estrechamente relacionados con problemas reproductivos y bajos índices productivos (Agroproyectos, 2023).

Debido a las condiciones actuales, las producciones porcinas basan su trabajo en maximizar la ganancia económica aumentando su eficiencia productiva. Por eso, es necesario crear estrategias para lograr niveles productivos mayores y más eficientes que se traduzcan en beneficios económicos. Los parámetros reproductivos son de vital importancia en el éxito de una explotación porcina, ya que el objetivo es aprovechar al máximo el potencial de la cerda como productora de lechones. De esta manera, se logra la mayor meta para un productor: tener

la mayor cantidad de cerdos nacidos por cerda cada año. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la relación de la condición corporal de la cerda con el tamaño y el peso de la camada (De Laguna-Ortega, 2011).

Materiales y métodos

Animales y muestreo

El estudio se realizó en la granja Villa Ángela de la empresa Jaibu, ubicada en el municipio de Rionegro – Antioquia, vereda Ojo de Agua, la cual presenta una altura de 2130 msnm y una temperatura de 18°C. Para este estudio, se recolectó información de la condición corporal de las hembras de pesos promedio y pesos totales de la camada; además, se reunió información de factores importantes como el orden de parto y la línea genética. Para realizar el estudio, se utilizaron 160 hembras activas de la línea *Camborough* 1050. La metodología del trabajo torna en medidas de condición corporal por medio de un equipo especializado (*Precisor Premex*), el cual es un instrumento que permite medir la grasa dorsal. Los valores de referencia son los siguientes: 0-12 (hembra flaca), 13-15 (hembra en condición óptima), 16-29 (hembra gorda).

Las mediciones de la condición corporal se realizaron en diferentes puntos de la lactancia de las hembras: La primera se realizó en el momento de la inseminación artificial y las siguientes entre los días 30, 75 y 113 después del parto. Los datos de las camadas fueron tomados al momento del parto; es importante mencionar que todos los datos de la granja

son registrados en el programa pigwin (www.pingwinsoft.ru).

Análisis de datos

Se ajustó un modelo lineal generalizado (GLM por sus siglas en inglés) para las variables más importantes y el efecto de los diferentes factores sobre dichas variables, donde fueron comparadas diferentes funciones de enlace para el GLM. El GLM usado se describe como:

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \alpha_j + \gamma_k + \delta_l + \epsilon_{ijkl}$$

Todos los análisis se realizaron usando el software estadístico R project versión 4.0.2 (R Core Team, 2021).

Resultados

Estadística descriptiva

El promedio de nacidos vivos por camada es de 13.71, y la mediana de 14, lo que está dentro de las especificaciones de la línea genética; la media del peso total de la camada (18.94 kg) corresponde y coincide al tamaño de camada promedio; el peso promedio de cada lechón fue de 1,4 kilogramos. El coeficiente de variación para las tres características evaluadas fue bajo, y estuvo entre 15.63 % para el peso promedio por lechón y 19.86 % para el peso total de los nacidos por camada. La estadística descriptiva para las variables evaluadas se presenta en la tabla 1.

Tabla 1

Estadística descriptiva para las variables de peso y camada en cerdas criadas en una granja del Oriente antioqueño

Característica	N	Media	Mediana	D.E	C.V (%)	Min	Max
NV	200	13.71	14.00	2.50	18.22	8.00	22.00
Peso total/camada (kg)	200	18.96	18.78	3.76	19.86	7.40	29.40
Peso promedio/lechón (kg)	200	1.40	1.39	0.22	15.63	0.62	2.19

Nota. NV = Nacidos vivos, N = Número de datos, D. E = Desviación estándar, C. V = Coeficiente de variación, Min= dato mínimo, Max = dato máximo. Elaboración propia.

Análisis de componentes principales

Los resultados del análisis de componentes principales fueron contundentes. En la figura uno se puede observar cómo las dos primeras dimensiones recopilaron el 51.4 % del total de la variación; además, se nota la relación estrecha y positiva que existe entre

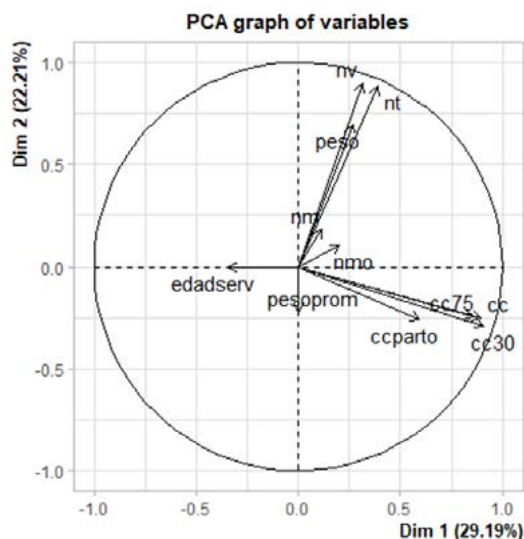
las condiciones corporales (CC, CC30, CC75, CCPARTO) medidas en diferentes momentos de la gestación, entre los nacidos vivos (NV), nacidos totales (NT) y peso total de la camada (Peso). También se hace evidente una relación inversa entre la edad de servicio y los nacidos momios, también con la condición corporal medida en cualquier punto; esta correlación

negativa conduce a pensar que, a mayor edad de la cerda al momento del servicio, menor es la condición corporal de las hembras durante la gestación. En el análisis de componentes principales (Figura 1) también se puede inferir que la variable CC puede representar

la condición corporal de las hembras en los demás puntos de la gestación, por lo cual fue la que se seleccionó para realizar el análisis inferencial, buscando su efecto sobre las variables de peso y tamaño de camada.

Figura 1

Gráfica de variables: condición corporal, tamaño y peso



Nota. Componentes principales para las variables asociadas a la condición corporal, peso y tamaño de camada en cerdas gestantes de diferentes líneas usadas como reproductoras en el Oriente antioqueño.

Análisis inferencial

Los resultados de los efectos promedio de la condición corporal, el número de parto y la línea genética sobre las variables evaluadas nacidos vivos, peso total de la camada y peso promedio de lechón por camada se presentan en la tabla 2. Para la variable nacidos vivos por camada se encontró efectos negativos significativo y muy significativo para los partos 4 y 6, respectivamente; los otros

factores no fueron significativos. Para las variables PTC y PPLC se encontró un efecto significativo positivo de la condición corporal óptima con valores de 1.67241 y 0.09393, respectivamente. Para la variable PPLC, existió un efecto muy significativo y significativo positivo para el parto 4 y la línea genética 2.

Tabla 2

Resultados del GLM, estimativas y errores estándar del efecto de la condición corporal

	NV		PTC		PPLC	
	Estimativa	E.E	Estimativa	E.E	Estimativa	E.E
Intercepto	14.1467 ^(***)	0.6011	17.92734 ^(***)	0.87352	1.25722 ^(***)	0.05274
Obesa	-0.9323	0.7443	-0.63633	1.08165	0.09382	0.06531
Óptima	0.5169	0.448	1.67241 ^(*)	0.65112	0.09393 ^(*)	0.03931
Parto 2	-0.9671	0.6983	0.02606	1.01481	0.09188	0.06127
Parto 3	-0.703	0.5988	-0.18899	0.87028	0.07933	0.05255
Parto 4	-0.9561 ^(.)	0.5711	-0.09131	0.83003	0.08772 ^(.)	0.05012
Parto 5	-0.3109	0.6923	0.66822	1.00614	0.06351	0.06075
Parto 6	-2.0096 ^(*)	0.8025	-1.13223	1.16637	0.11472	0.07042
Parto 7	-0.7489	0.7336	-0.59579	1.06612	0.01163	0.06437
Parto 8	-0.3738	1.1702	1.042	1.70066	0.09055	0.10269
Parto 9	0.3364	2.5122	1.20025	3.65109	0.03551	0.22045
Línea 2	-0.2339	0.6325	0.91153	0.91923	0.12605 ^(*)	0.0555

Nota. (.) = estimación significativa, (*) = estimación muy significativa, (**) = estimación altamente significativa, (***) = estimación altamente muy significativa. Resultados del GLM, estimativas y errores estándar del efecto de la condición corporal, número de parto y línea genética para las variables evaluadas Nacidos vivos, peso total de la camada y peso promedió/lechón/camada.

Discusión

El resultado de número de lechones al nacimiento es similar al reportado por (Torres-Novoa & Hurtado-Nery, (2007) en el cual cita a Portela (1993) y por Daza (2000) trabajando con cruces dihíbridos; estos resultados difieren de los reportados por González (2004), Muirhead (2001), Dalla (1994) Ferreira (2005) y Bermúdez (1996), CEGA (1999). Este resultado se explica por el manejo que se da a las hembras de cría y a las líneas genéticas

mejoradas introducidas en la última década, buscando desarrollar mayor tamaño de la camada y buena habilidad materna. Asimismo, los hallazgos obtenidos son similares a los reportados en Reino Unido y Estados Unidos, y superiores a los indicados para México por Bautista (1993) y para Brasil por Surabbi et al., (2006) y Dalla (1994), citado por Ferreira (2005). Estas variaciones pueden explicarse como debidas a los ambientes controlados, al tipo de instalaciones que proporcionan bienestar a las hembras en gestación, reduciendo las posibles

pérdidas embrionarias o prenatales. Además, se debe tener en cuenta la selección de líneas con características reproductivas superiores utilizadas en la producción porcícola de esos países. Es importante considerar que estos datos corresponden a valores promedio de cada país donde se incluyen los resultados zootécnicos de todos los sistemas de producción.

El peso al nacimiento por lechón encontrado es similar a los valores encontrados por Dalla (1994), citado por Ferreira (2005), pero es menor al obtenido por Bermúdez (1996) y CEGA (1999). Esta variable está determinada en gran parte por la alimentación suministrada a la cerda en el último tercio de la gestación, lo que indica que la granja en referencia suministra una dieta adecuada, con todos los nutrientes exigidos por la reproductora para esta fase fisiológica. El peso al nacimiento influye en la viabilidad del lechón durante la lactancia.

El peso de los lechones al destete está relacionado con la duración de la lactancia o edad al destete. Los resultados de este estudio son inferiores a los descritos por Bautista (1993), que reportó valores de 5,6 kg para Reino Unido, 6 kg para Estados Unidos, y 6 kg para México; de igual manera, a (1992), señaló para explotaciones porcícolas de Cundinamarca 5,5 g, todos con 21 días de lactancia. CEGA (1999) constató 7,8 kg de peso para los lechones con 28 días de lactancia. Dalla (1994), citado por Ferreira (2005), registró peso al destete de 5,87 kg y lactancia de 21 días.

Conclusiones

Los parámetros zootécnicos para la fase de cría en la granja porcícola Villa Ángela no presentaron mayor variabilidad, y se encuentran próximos a los promedios nacionales y estándares internacionales de producción porcina. Se notan relaciones estrechamente positivas entre condición corporal medidas en diferentes momentos de la gestación, entre los nacidos vivos (NV), nacidos totales (NT) y peso total de la camada.

La pérdida de condición corporal durante la lactancia no se relacionó con el número de nacidos totales o peso medio al nacimiento; una mayor pérdida de grasa dorsal durante la lactación se relacionó con un mayor peso al nacimiento independientemente de la paridad de la cerda. El aumento de peso corporal de las cerdas durante la gestación se relacionó de forma negativa con el número de nacidos totales, pero positivamente con el peso al nacimiento. El aumento de la condición corporal durante la gestación no se relacionó con el peso medio al nacimiento de los lechones.

Referencias

- Agro Proyectos (2023). Parámetros técnicos y reproductivos en los cerdos. <https://agroproyectos.org/parametros-tecnicos-productivos-cerdos/>
- Bautista, L. (1993). Parámetros de producción de la porcicultura nacional. En: *Seminario Internacional de Porcicultura*. Guadalajara.
- Bermúdez, J. (1996). La porcicultura a la intemperie. *Revista Carta Ganadera*, 33(7), 28-35.
- Centro de Estudios Ganaderos y Agrícolas (CEGA). (1999). Caracterización de la producción porcícola en Colombia. Bogotá. <https://www.cega.org.co/>
- Daza, N. (2000). Manual básico de porcicultura. Asociación Colombiana de Porcicultores. Bogotá.
- De Laguna-Ortega, J. (2011). *Importancia de la selección en la producción porcina*. <https://bmeditores.mx/porcicultura/importancia-de-la-seleccion-en-la-produccion-porcina/>
- Ferreira, A. (2005). Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos y bovinos. Brasil.
- Gallo, J. (1983). Situación actual de la industria porcina en Colombia. En: Seminario sobre Sistemas de Producción Porcina en América Latina. Bogotá.
- González, M. (2004). Guía de porcicultura. <https://www.guiaporcicultura.com/>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1991). Características geográficas del Meta. Bogotá. <https://www.igac.gov.co/>
- Torres-Novoa, D. M., & Hurtado-Nery, V. L. (2007). Análisis de parámetros de desempeño zootécnico en la fase de cría en una porcícola comercial del departamento del Meta. *Orinoquia*, 11(2), 59-65. <https://www.redalyc.org/pdf/896/89611206.pdf>
- Minagricultura (2019). Boletín de la industria porcina. <https://www.minagricultura.gov.co/>
-

- Moreno, A., Patarroyo, M. C., Hurtado Nery, V. L., & Garzon, A. V. (2002). Estimación de parámetros porcinos en fase de cría en el departamento del Meta. *Revista Orinoquia*, 6(1), 138-148. Recuperado de <https://revistas.unillanos.edu.co/>
- Muirhead, M. (2001). Manejo sanitario y tratamiento de las enfermedades del cerdo. Inter-Medica.
- Porkcolombia. (2018). Informe anual de la industria porcícola. Recuperado de <https://www.porkcolombia.co/>
- Porkcolombia. (2019). Estadísticas de producción porcina. Recuperado de <https://www.porkcolombia.co/>
- R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. <https://www.R-Project.org/>
- Rincón, I. A. (2023). Evaluación de la condición corporal y el número de lechones destetados en una granja comercial de cerdas de cría. <https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/d1fa253f-b392-443f-9064-df05998fdfee/content>
- Wientjes, J. G. C., Soede, N. M., van den Brand, H., & Kemp, B. (2012). Nutritional influences on piglet growth and mortality. En: Farmer, C. (Ed.), *Advances in Pig Welfare* (pp. 127-152). Woodhead Publishing. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141312001029>
-

Evaluación del efecto de la nutrición NPK y su incidencia en la productividad en el cultivo de maíz (*Zea mays*)

Evaluation of the effect of npk nutrition and its impact on productivity in maize (zea mays) cultivation

Alejandra Aguirra¹, David Monsalve², Alejandro Giraldo Franco³ y Sebastián Montoya Uribe⁴

1 Semillero Ruminaceae (UCO). Correo: alejaaguirre444@gmail.com.

2 Grupo de ingeniería de investigación y desarrollo (CORONA). Correo: dmonsalve@corona.com.co.

3 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: agiraldo@uco.edu.co.

4 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: smontoya@uco.edu.co.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1313-2319>.

Resumen

En este estudio se examinó el impacto de la combinación de fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) junto con silicio en el rendimiento y la calidad del maíz (*Zea mays*) en Colombia. La adecuada fertilización desempeña un papel fundamental en la garantía de la seguridad alimentaria, pero la escasez de información sobre la optimización de nutrientes ha llevado a prácticas agrícolas subóptimas por parte de los agricultores. A través de un experimento llevado a cabo en Rionegro, Antioquia, se evaluaron diversas combinaciones y momentos de aplicación de NPK. Los resultados destacaron que la suplementación con NPK tuvo un impacto significativamente positivo en el crecimiento de las plantas de maíz en comparación con la fertilización convencional. Se evidenciaron notables diferencias en la altura de las plantas,

el número de hojas, el diámetro del tallo y las concentraciones de minerales en el maíz. Además, a través del modelo logístico, se identificó un punto máximo de acumulación de biomasa de 50,59 gramos en las plantas de maíz. El análisis de medidas repetidas en el tiempo puso de manifiesto que la aplicación secuencial de NPK a lo largo del ciclo de crecimiento resultó en un aumento constante en el crecimiento de las plantas y la acumulación de minerales esenciales en los tejidos del maíz. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar esta combinación de nutrientes para maximizar tanto la productividad como la calidad del maíz, enfatizando la necesidad de ajustar los tratamientos a lo largo del ciclo de crecimiento para obtener resultados óptimos.

Palabras clave

Fertilización, Desarrollo, Sostenibilidad, Productividad, Optimización.

Abstract

In this study, the impact of NPK (nitrogen, phosphorus and potassium) fertilizer combination together with silicon on yield and quality of maize (*Zea mays*) in Colombia was examined. Adequate fertilization plays a key role in ensuring food security, but the scarcity of information on nutrient optimization has led to suboptimal farming practices by farmers. Through an experiment conducted in Rionegro, Antioquia, various combinations and timing of NPK application were evaluated. The results showed that NPK supplementation had a significantly positive impact on corn plant growth compared to conventional fertilization. Notable differences were evident in plant

height, number of leaves, stalk diameter and mineral concentrations in maize. In addition, through the logistic model, a maximum biomass accumulation point of 50,59 g was identified in the maize plants. Repeated measures analysis over time revealed that sequential application of NPK throughout the growth cycle resulted in a steady increase in plant growth and accumulation of essential minerals in maize tissues. These findings underscore the importance of considering this nutrient combination to maximize both corn productivity and quality, emphasizing the need to adjust treatments throughout the growth cycle for optimal results.

Keywords

Fertilization, Development, Sustainability, Productivity, Optimization.

Introducción

En el panorama de la agricultura mundial, el maíz (*Zea mays*) se alza como un protagonista indiscutible, ejerciendo una influencia crucial en la seguridad alimentaria global. Estados Unidos, China y Brasil ostentan con razón los roles principales en la producción maicera a nivel global (CIMMYT, 2019). Mientras tanto, en el contexto colombiano, el año 2020 presenció la siembra de 157 552 hectáreas de maíz, generando una cosecha de 521 557 toneladas con un rendimiento de 1,83 toneladas por hectárea, destinadas principalmente a la alimentación animal (Minagricultura, 2021). En la incansable búsqueda de potenciar la productividad de este cultivo, la aplicación precisa de nutrientes fundamentales como el nitrógeno, el fósforo y el potasio se erige como un pilar inquebrantable. Sin embargo, las carencias informativas en el manejo de la fertilización han dado origen a recomendaciones genéricas y a una utilización poco razonada de los fertilizantes (Attanandana & Yost, 2004).

En este entorno desafiante, surge el silicio como una estrategia latente para catalizar la nutrición del maíz. La integración de este elemento ha revelado efectos positivos en una multiplicidad de cultivos, entre ellos, el maíz, avivando la productividad, la biomasa y la tolerancia al estrés hídrico (Meena et al., 2013; Korndorfer

& Lepsch, 2001; Kaya et al., 2006). La mirada se dirige hacia la optimización de aspectos fisiológicos y la mejora cualitativa del cultivo, insuflando optimismo en la consecución de cosechas más prósperas y robustas.

No obstante, los avances incuestionables en la producción de maíz, Colombia se enfrenta a un reto perentorio en términos de seguridad alimentaria, dado su marcado grado de dependencia en las importaciones de maíz, dejándola vulnerable ante las oscilaciones inherentes a los mercados internacionales (FAO, 2021). En este contexto, la imperante necesidad de elaborar estrategias que refuercen la producción interna y mitiguen la dependencia importadora se postula como un imperativo ineludible, consolidando así las bases de la seguridad alimentaria en el país (López, 2020).

El cultivo del maíz, pieza angular tanto en la seguridad alimentaria como en la economía de numerosas naciones, ha enfrentado obstáculos notables en el escenario colombiano en las últimas décadas. El declive en rendimientos y calidad ha conducido al país a incrementar las importaciones para satisfacer la demanda de alimentos y concentrados animales. El año 2022, por ejemplo, contempló la importación de más de 6,1 millones de toneladas de maíz amarillo, lo

que afectó sectores cruciales como la industria avícola debido al aumento en los precios de insumos esenciales como el maíz y la soya.

En este panorama complejo, la carencia de semillas certificadas y la limitada mecanización han convergido en rendimientos desalentadores. A pesar de los esfuerzos denodados de los agricultores por mantener una fertilización apropiada, la incertidumbre persiste en relación con la dosificación precisa y el momento idóneo para la aplicación de nutrientes, así como en la selección adecuada de fertilizantes, contemplando el reciclaje de nutrientes durante el ciclo vegetativo. Un manejo eficiente de la nutrición se postula como pilar esencial para asegurar rendimientos sostenibles y resultados económicos positivos, tanto en el cultivo de maíz como en los cultivos sucesores en rotación, como la soya.

El nitrógeno, el fósforo y el azufre, nutrientes que ejercen un férreo control sobre la productividad del maíz, demandan una atención urgente y una mejora en las prácticas de fertilización. Abordar este desafío se torna imperativo para garantizar un incremento sostenible en la productividad del cultivo de maíz y asegurar la seguridad alimentaria en la región.

El maíz, auténtico pilar en la alimentación humana y animal, adquiere una mayor relevancia en un contexto donde la población mundial ha experimentado un crecimiento notorio. Elevar la fertilización se postula como una vía para satisfacer la creciente demanda alimentaria, cuyo aumento ha sido evidente en los últimos años.

La necesidad de establecer niveles óptimos de fertilización, evitando la sobre fertilización y optimizando la utilización de recursos tales como el agua y los nutrientes del suelo, adquiere una relevancia ineludible en el marco de la conservación ambiental. El aumento en la productividad del maíz, resultado de prácticas de fertilización pertinentes no solo favorecerá los ingresos de los agricultores, sino que también contribuirá al desarrollo económico de las comunidades agrícolas.

En este contexto, Colombia se yergue como un ejemplo de superación. A pesar de sus notorias importaciones, ha conseguido trascender y ha logrado exportar maíz, generando beneficios sustanciales en diversas regiones del país.

La estandarización de programas de fertilización adaptados a las distintas zonas geográficas emerge como un motor para incentivar la investigación agrícola y el desarrollo tecnológico. Esto no solo repercutirá en el cultivo del maíz, sino que también beneficiará a otros cultivos de envergadura y al entorno ambiental en su conjunto. La agricultura moderna y sostenible precisa de una administración adecuada de los fertilizantes, estableciendo así un equilibrio armónico entre la producción y la conservación ambiental. Esta perspectiva nos guía hacia el corazón de esta tesis de pregrado en ingeniería agronómica, donde la búsqueda de la mejora continua y la sostenibilidad se alzan como pilares fundamentales.

Objetivo general

Evaluar el efecto de la nutrición NPK en la productividad del cultivo de maíz (*Zea mays*), con el fin de determinar su incidencia en el rendimiento y calidad de los cultivos.

Objetivos específicos

- Identificar la composición y proporciones óptimas de la mezcla NPK para la fertilización del cultivo de maíz, considerando las necesidades nutricionales específicas de la planta en diferentes etapas de crecimiento.
- Realizar un análisis comparativo entre el uso de la nutrición NPK y la fertilización tradicional (NPK) en términos de rendimiento del maíz, evaluando la productividad.
- Evaluar la incidencia de la nutrición NPK en el desarrollo vegetativo del maíz, analizando parámetros como altura de la planta, área foliar y vigor.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se realizó en el hogar juvenil Santa María, propiedad de la Universidad Católica de Oriente, localizada en el municipio de Rionegro, Antioquia, vereda Canadá, a 6°04'23"N 75°22'44"W con una altura de 2185 msnm, temperatura promedio de 16.6 °C, humedad relativa de 80 %, precipitación de

1800 mm y topografía de plana a ondulada. Dicho predio pertenece a una zona de vida de bosque húmedo montano bajo (bh-MB), de acuerdo con la clasificación de Holdridge (2000).

Procedimientos generales

El cultivo se estableció en un lote de aproximadamente 236,6 m², el cual se delimitó y desmalezó para su preparación. Se trazaron hileras de siembra con una separación de 80 cm entre ellas. Para garantizar una organización eficiente, el terreno se dividió en 5 bloques, ajustados por la pendiente, cada uno conteniendo 9 hileras de siembra correspondientes a los tratamientos a evaluar. Cada hilera tuvo 25 plantas, sumando un total de 140 plantas por tratamiento, y se aseguró una separación de un (1) metro entre cada bloque.

En cuanto a la selección de las semillas, se optó por la variedad de maíz certificada ICA V-305. Para la siembra, se colocó una (1) plántula en cada sitio, manteniendo una distancia de 25 cm entre cada planta.

Tratamientos

Se llevó a cabo un fraccionamiento de la fertilización NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) siguiendo la metodología propuesta por Montealegre (2009), que recomienda niveles específicos de extracción del cultivo: 140 kg/ha de N, 90 kg/ha de P₂O₅ y 90 kg/ha de K₂O. Con el objetivo de investigar los efectos de diferentes proporciones de esta fertilización, se diseñaron tratamientos que

proporcionaban el 50 %, 75 % y 100 % de la dosis recomendada. Además, se introdujo el silicio (SiO₂) como nutriente adicional a través del producto, en dosis de 150 kg/ha, equivalente a 105 kg/ha de SiO₂. Los tratamientos combinaron la fertilización NPK con el producto en diferentes proporciones: 50 % NPK, 75 % NPK y 100 % NPK. También se evaluaron tratamientos exclusivos de

SiO₂, incluyendo 200 kg/ha (140 kg/ha de SiO₂) más 75 % de la dosis NPK, y (150 kg/ha de SiO₂) sin NPK. Como control, se incluyó un tratamiento sin NPK ni SiO₂. La Tabla 2 presenta una descripción detallada de las dosis aplicadas en cada tratamiento, las cuales fueron distribuidas según las etapas vegetativas del cultivo durante el transcurso del experimento.

Tabla 1

Dosificación de los tratamientos propuestos en la evaluación

Tratamiento	Descripción Tratamiento	Dosis N (Kg/Ha)	Dosis P205(Kg/Ha)	DOSIS K20 (Kg/Ha)	Dosis SiO ₂ (Kg/Ha)
T1	Testigo	0	0	0	0
T2	N-P-K50%	70	45	45	0
T3	N-P-K 75%	105	67.5	67.5	0
T4	N-P-K 100%	140	90	90	0
T5	N-P-K 50% + Si	70	45	45	105
T6	N-P-K 75% + Si	105	67.5	67.5	105
T7	N-P-K 100% + Si	140	90	90	105
T8	Si	0	0	0	105
T9	N-P-K 75% ÷ 1.33 Si	105	67.5	67.5	140

Nota. Elaboración propia.

Variables

Las variables evaluadas se midieron acorde con la metodología propuesta por el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT (Muñoz, Giraldo, & de Soto, 1993).

Morfometría

Altura de la planta (AP): se midió en centímetros la distancia desde el suelo hasta la hoja superior (con lígula visible) cada 1,5 meses en cinco plantas por repetición,

tomadas al azar (siempre las mismas, para esto se marcaron), para un total de 25 plantas por tratamiento. Cuando las plantas alcanzaron la madurez de cosecha se midió desde el punto de la unión de la raíz y el tallo hasta la base de la espiga.

Numero de hojas (NH): se contabilizó el número de hojas completamente desarrolladas, con lígula visible, desde el suelo hasta la base de la espiga, cada 1,5 meses, en cinco plantas por repetición, tomadas al azar (siempre las mismas, para esto se marcarán), para un total de 25 plantas por tratamiento.

Diámetro de tallo (DT): a una altura determinada se midió el diámetro de los tallos cada 1,5 meses, en cinco plantas por repetición, tomadas al azar (siempre las mismas, para esto se marcarán), para un total de 25 plantas por tratamiento.

Acumulación de biomasa y extracción de nutrientes del cultivo de maíz

Se hicieron muestreos destructivos (planta completa) en 3 diferentes estados fenológicos; V3 (tres hojas), V6 (seis hojas); y en R3 (formación de espiga, Figura 1), de acuerdo con lo recomendado por (Ciampitti, Boxler, & García, 2006). Estos muestreos destructivos se hicieron para cada tratamiento, tomando 5 plantas. A estas plantas se les hizo las mediciones de peso fresco aéreo (tallo y hojas) peso fresco radical, peso seco aéreo (tallo y hojas) y peso seco radical evaluando así su Tasa relativa de

crecimiento. El contenido de nitrógeno (N) se determinó mediante el método de Kjeldahl (NTC 4657, 1999, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). El fósforo (P) se cuantificó utilizando el método del ácido ascórbico, siguiendo la Norma Técnica Colombiana NTC 3191 (ICONTEC). El potasio (K) se evaluó mediante fotometría de llama, conforme a la AOAC 942.05. El calcio (Ca) y el magnesio (Mg) se midieron mediante espectrofotometría de absorción atómica siguiendo la NTC 309 (ICONTEC). El azufre (S) se cuantificó mediante la técnica de combustión en un analizador de azufre, de acuerdo con NTC 2072 (ICONTEC). El hierro (Fe) y el manganeso (Mn) se determinaron utilizando espectrofotometría de absorción atómica, siguiendo la NTC 259 (ICONTEC). El cobre (Cu) y el zinc (Zn) se midieron mediante espectrofotometría de absorción atómica, de acuerdo con la NTC 303 (ICONTEC). El boro (B) se cuantificó mediante espectrometría de emisión atómica, siguiendo la NTC 3703 (ICONTEC). El silicio (Si) se determinó utilizando espectrofotometría de absorción atómica, conforme a la NTC 295 (ICONTEC).

Análisis estadístico

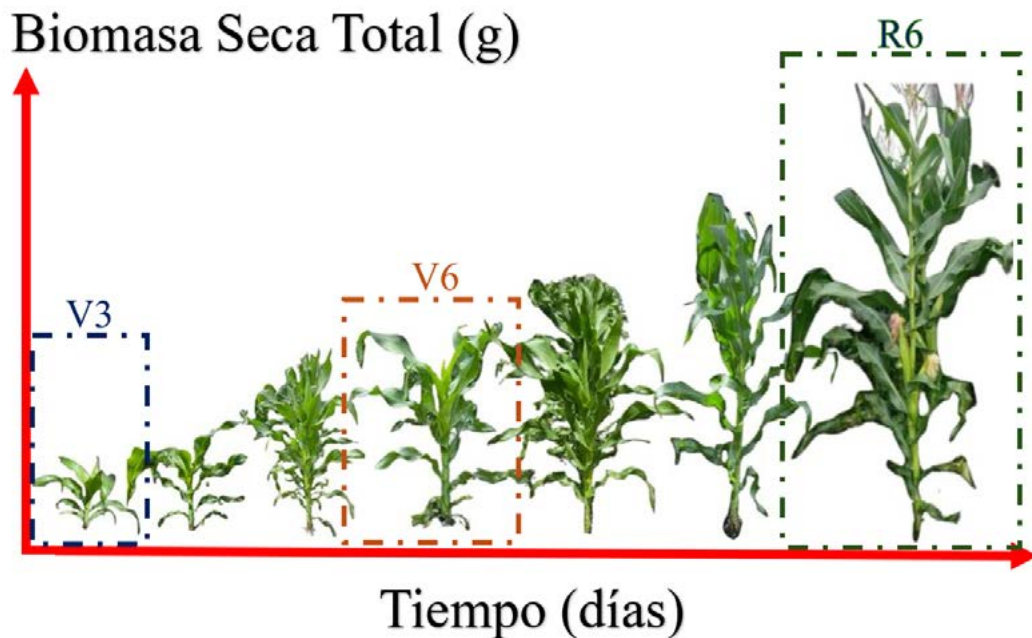
Los datos obtenidos en este trabajo fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con un arreglo de medidas repetidas en el tiempo (3 mediciones realizadas durante el período experimental), del mismo individuo (efecto aleatorio). El modelo estadístico

consideró como efecto fijo el tratamiento y tiene en cuenta el efecto aleatorio, buscando modelar la estructura de covarianza de los datos. Se analizaron las estructuras de Simetría compuesta, sin estructura y la combinación de estructura autorregresiva de primer orden dentro de individuos y efecto aleatorio entre individuos (Littell et al., 1998; Littell et al., 2000). Las estructuras de covarianza fueron comparadas utilizando el criterio de información de Akaike (AIC; Akaike, 1974)

y el criterio de información bayesiano (BIC; Schwarz, 1978). Para las variables acumulación de biomasa se realizó un análisis de regresión que incluyó diferentes modelos no lineales y se determinó el mejor ajuste a partir del criterio de información Akaike (AIC) y coeficiente de correlación R^2 . La comparación entre tratamientos se realizó a partir del intervalo de confianza (IC) de los modelos seleccionados. Para todos los análisis se utilizó el software estadístico R (R Core Team, 2022).

Figura 1

Esquema de la Metodología de Investigación del Experimento.



Nota. Elaboración propia.

Resultados

Estudio de la morfometría en plantas: altura, número de hojas y diámetro del tallo

En todos los casos (altura, número de hojas, diámetro), la modelación con estructura autorregresiva de 1er orden (Mod.AR1) captura mejor los patrones y la variabilidad de los datos que la modelación simétrica compuesta (Mod.SC), esto debido a valores más bajos de AIC y BIC (tabla 1).

Tabla 2

Análisis de la estructura de covarianza de las estructuras simetría compuesta y la estructura autorregresiva de primer orden

	Mod.SC		Mod.AR1	
	AIC	BIC	AIC	BIC
Altura (cm)	6701.03	6795.27	5857.389	951.63
Numero de hojas	2043.75	2137.99	1985.866	2080.107
Diámetro (cm)	3980.21	4074.45	3902.7	3996.941

Nota. Mod.SC: Modelación simétrica compuesta; Mod.AR1: Modelación con estructura autorregresiva de 1er orden; AIC: criterio de información Akaike; BIC: criterio de información Bayesiano. (Littell et al., 1998; Littell et al., 2000).

Si bien se observan diferencias significativas en las tres características evaluadas (altura, número de hojas, diámetro) en los diversos tratamientos, es esencial destacar la significancia estadística del factor tiempo y, específicamente, de la interacción entre los tratamientos y tiempo en el caso de la variable altura y número de hojas. Por lo tanto, resulta crucial realizar inferencias acerca de los efectos simples del experimento; esto revela diferencias estadísticas altamente significativas en las tres variables de interés (altura, diámetro y número de hojas) entre los nueve tratamientos evaluados en los tres momentos de tiempo (45 días, 90 días y 120 días).

Tabla 3

Contrastes de los efectos simples de los tratamientos en el tiempo

	Altura (cm)			Diámetro (cm)			Número de Hojas		
	45 días	90 días	120 días	45 días	90 días	120 días	45 días	90 días	120 días
T1	23.42 ± 2.3	198.56 ± 11.09 ^b	195.04 ± 14.79 ^b	25.66 ± 2.79 ^b	33.20 ± 3.97 ^b	32.66 ± 4.41	8.2 ± 1.08 ^{ab}	9.08 ± 0.99 ^c	9.88 ± 0.72
T2	24.95 ± 3.07	199.8 ± 11.75 ^b	200.02 ± 18.35 ^b	29.20 ± 2.73 ^a	37.31 ± 3.18 ^a	34.85 ± 4.12	8.48 ± 0.77 ^{ab}	10.52 ± 1.15 ^{ab}	9.96 ± 0.73

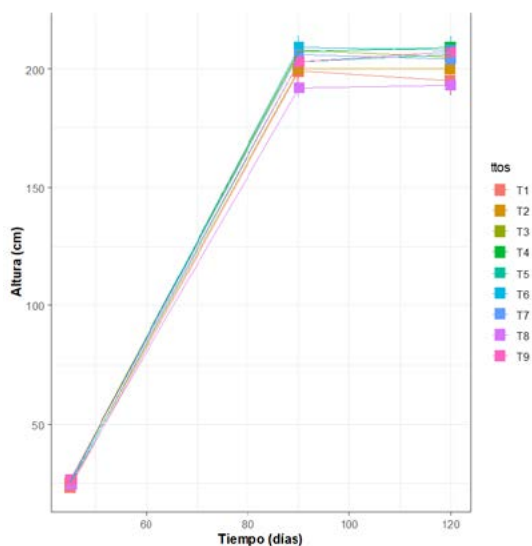
	Altura (cm)			Diámetro (cm)			Número de Hojas		
T3	26.54 ± 3.75	207.96 ± 10.31 ^a	205.44 ± 12.12 ^a	28.56 ± 3.26 ^{ab}	36.06 ± 3.77 ^{ab}	33.45 ± 2.80	7.92 ± 0.81 ^{ab}	10.16 ± 1.02 _b	10.04 ± 0.67
T4	26.12 D 3.59	206.53 ± 10.59 ^a	209.364 ± 9.76 ^a	27.95 ± 3.10 ^{ab}	37.85 ± 3.63 ^a	34.30 ± 3.58	8.28 ± 0.73 ^{ab}	10.92 ± 1.18 ^a	9.88 ± 0.66
T5	24.63 ±3.49	202.85 ± 10.12 ^a	205.548 ± 14.49 ^a	27.21 ± 3.38 ^{ab}	35.14 ± 3.92 ^{ab}	32.58 ± 3.09	8.08 ± 0.86 ^b	10.68 ± 0.94 ^{ab}	10.28 ± 0.54
T6	25.28 ± 2.47	209.21 ± 14.29 ^a	208.38 ± 14.26 ^a	27.50 ± 3.44 ^{ab}	35.53 ± 4.34 ^{ab}	32.05 ± 4.02	7.92 ± 0.95 ^b	10.8 ±1.11 ^{ab}	10.16 ± 0.68
T7	26.31 ± 3.60	205.54 ± 10.46 ^a	204.164 ± 10.84 ^a	27.95 ± 3.49 ^{ab}	35.80 ± 3.11 ^{ab}	32.44 ± 2.97	8.84 ± 0.47 ^a	10.48 ± 0.82 _{ab}	10.32 ± 0.69
T8	24.67 ± 2.72	192.19 ± 10.11 ^b	192.604 ± 10.54 ^b	26.58 ± 2.57 ^{ab}	36.13± 4.76 ^{ab}	33.38 ± 4.71	8.64 ± 0.56 ^a	10.68 ± 1.10 ^{ab}	10.16 ± 0.68
T9	26.53 ± 3.79	203.09 ± 11.26 ^a	206.504 ± 10.27 ^a	28.67 ± 3.62 ^{ab}	35.79 ± 4.32 ^{ab}	32.81 ± 5.20	8.72 ± 0.73 ^a	10.52 ± 0.77 ^{ab}	10.16 ± 0.62

Nota. Las medias con la misma letra en una columna no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

En cuanto a la altura de las plantas, se observó una marcada variación entre los tratamientos en los tres momentos. Los tratamientos T1, T2 y T8 presentaron alturas significativamente menores en comparación con los demás en los períodos de 90 y 120 días. Por otro lado, a los 120 días, el tratamiento T4 destacó significativamente con la altura más alta. Por otro lado, en cuanto al diámetro, el tratamiento T2 mostró diámetros significativamente mayores en los tres momentos en comparación con los demás tratamientos. En el caso del número de hojas, el tratamiento T7 exhibió un número significativamente mayor de hojas en todos los momentos de tiempo.

Figura 2

Análisis temporal de la altura de las plantas de maíz

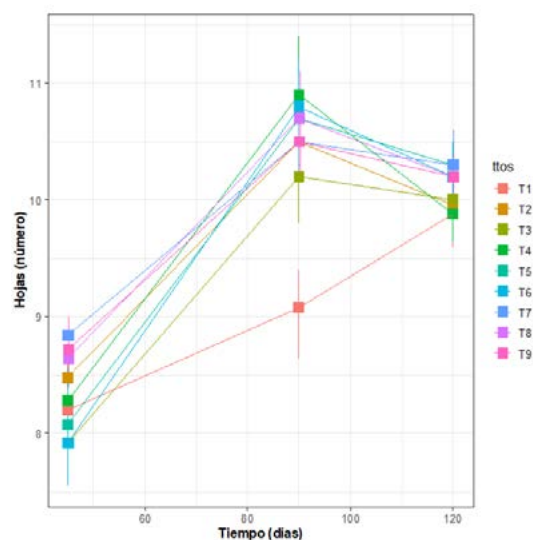


Nota. Elaboración propia.

Un hallazgo interesante es que el desarrollo máximo de la altura parece ocurrir en el intervalo de tiempo de 45 a 90 días (Figura 2), donde varios tratamientos alcanzan sus alturas máximas. Sin embargo, es importante destacar que después de los 120 días, se observa una disminución en esta variable para algunos tratamientos, lo que sugiere una posible limitación en el crecimiento o una respuesta negativa en etapas más avanzadas del ciclo de crecimiento.

Figura 3

Análisis temporal del número de hojas de las plantas de maíz



Nota. Elaboración propia.

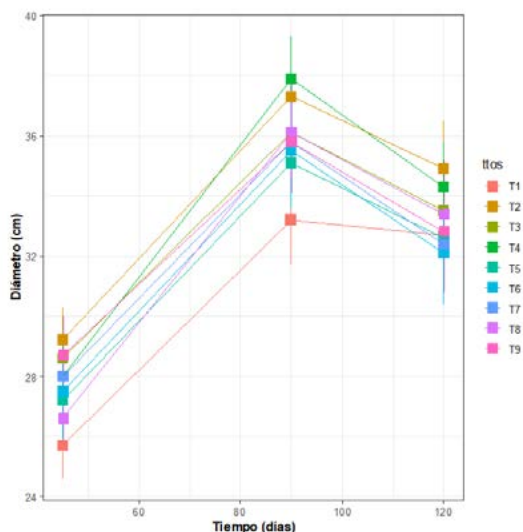
Estos resultados destacan la importancia de monitorear y gestionar cuidadosamente el crecimiento de las plantas de maíz a medida que avanzan en su desarrollo, ya que los tratamientos pueden tener un impacto

variable en diferentes fases del ciclo de cultivo; para futuras investigaciones, resultaría de gran interés explorar la posibilidad de reducir gradualmente ciertos componentes de la fertilización en busca de una fertilización más precisa y económica.

En el intervalo de tiempo comprendido entre los 90 y 120 días, se observaron cambios notables en el número de hojas de las plantas de maíz (Figura 3). Específicamente, durante este período, el tratamiento T4 experimentó una disminución significativa en el número de hojas en comparación con los demás tratamientos. Mientras que, en los 90 días, T4 mostraba un número competitivo de hojas, su desarrollo de hojas se vio ralentizado entre los 90 y 120 días. Este fenómeno contrasta con otros tratamientos, que mantuvieron o incluso aumentaron su número de hojas en este intervalo caso (T1). Estos resultados apuntan a la posibilidad de que el tratamiento T4, que implica la aplicación de la dosis más alta de nitrógeno (140-90-90 kg/ha N-P-K al 100%), no sea tan efectivo en fomentar un desarrollo continuo de hojas en comparación con otras opciones durante esta fase del ciclo de cultivo. Estos hallazgos enfatizan la importancia de considerar la variación de la dosificación a lo largo del ciclo de cultivo. No es necesario mantener una dosis constante en todo momento, ya que existen períodos en los que un exceso de nutrientes no es aprovechado por la planta, lo que puede generar impactos ambientales negativos y aumentar los costos de producción.

Figura 4

Análisis temporal del diámetro de las plantas de maíz



Nota. Elaboración propia.

Durante el estudio se identificaron cambios significativos en el diámetro de las plantas de maíz en diferentes momentos del ciclo de crecimiento (Figura 4). Entre los 45 y 90 días, se observó un crecimiento notorio en el diámetro, siendo el tratamiento T6 el que destacó en crecimiento en comparación con

los demás tratamientos, lo que sugiere una respuesta altamente positiva a las condiciones específicas de 105-67.5-67.5 kg/ha (N-P-K 75% + Si) en esta etapa. Sin embargo, entre los 90 y 120 días, se produjo una disminución marcada en el diámetro de las plantas, siendo el tratamiento T4 el más afectado con una reducción significativa. Mientras que otros tratamientos mantuvieron o aumentaron el diámetro de sus plantas, T4 experimentó una disminución notoria en este período, lo que podría indicar un efecto negativo o una limitación en el crecimiento en esta fase específica del ciclo de desarrollo.

Análisis de biomasa radicular, área y total en cultivo de maíz

La tabla anterior presenta diversos modelos que fueron empleados y evaluados para las variables de biomasa seca, incluyendo la biomasa aérea, radicular y total (BSA, BSR y BST). En términos generales, el modelo logístico demostró un ajuste adecuado a los datos en las tres variables (BSA, BSR y BST), destacando un equilibrio efectivo entre su capacidad de ajuste y su complejidad, con coeficientes de determinación R² del 94.26 % (Figura 5).

Tabla 4

Modelos de regresión aplicados a datos de biomasa

Modelo	Biomasa Seca Aérea (BSA)			Biomasa Seca Radicular (BSR)			Biomasa Seca Total (BST)		
	AIC	BIC	R ²	AIC	BIC	R ²	AIC	BIC	R ²
Lineal	771.84	780.56	91.98	336.60	345.32	88.76	799.94	808.66	92.99
Cuadrático	752.84	764.46	93.14	333.25	344.87	89.20	774.87	786.49	94.26
Potencial	786.73	795.45	91.05	364.35	373.06	86.20	813.94	822.65	92.23

Modelo	Biomasa Seca Aérea (BSA)			Biomasa Seca Radicular (BSR)			Biomasa Seca Total (BST)		
	AIC	BIC	R2	AIC	BIC	R2	AIC	BIC	R2
Logístico	752.84	764.46	93.14	333.25	344.87	89.20	774.87	786.49	94.26
Gomperzt	752.84	764.46	93.14	333.25	344.87	89.20	774.87	786.49	94.26
Logarítmico	838.08	846.80	86.91	376.05	384.76	84.95	875.6	884.32	87.72

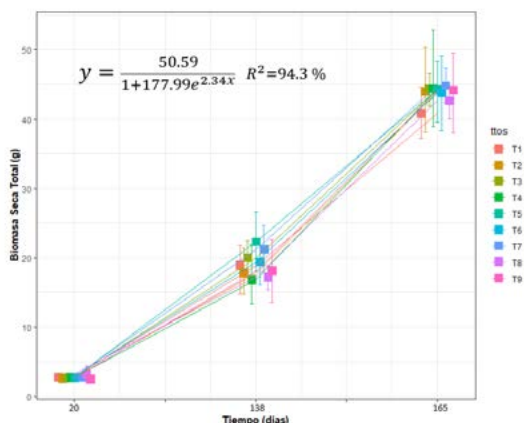
Nota. AIC: criterio de información Akaike; BIC: criterio de información Bayesiano; R²: coeficiente de correlación.

El análisis de regresión demostró que el modelo logístico empleado en esta investigación se adaptó de manera efectiva a los datos de biomasa en las plantas de maíz a lo largo del tiempo. Destacando una biomasa máxima teórica estimada en 50.59 g de Biomasa Seca Total, este valor representa el límite superior de acumulación de biomasa en el cultivo de maíz bajo las condiciones de este estudio. Proporcionando una visión clara de cómo la biomasa aumenta rápidamente al principio, se estabiliza y se aproxima a su valor máximo teórico a medida que transcurre el tiempo.

Según lo observado en los criterios de selección AIC, BIC y R² (tabla 5), los tratamientos T3 y T8 son los tratamientos en donde mejor se ajusta el modelo a los datos y que explican una mayor parte de la variabilidad con la variable de biomasa seca total con R² de 98.41 y 98.49 % respectivamente. Al analizar los modelos logísticos ajustados a nuestros tratamientos, observamos que el parámetro A, que representa el nivel máximo teórico de biomasa acumulada, varía entre los tratamientos. En este contexto, el Tratamiento 4 (T4) destaca al presentar el valor más alto de A, con una biomasa máxima teórica estimada de 57,41 gramos de biomasa seca total. Esto sugiere que el Tratamiento 4 tiene el potencial de acumular la mayor cantidad de biomasa en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta estimación se basa en el ajuste de los datos a un modelo logístico y que otros factores también pueden influir en la acumulación real de biomasa en el campo.

Figura 5

Análisis de regresión para la biomasa seca total



Nota. Elaboración propia.

En el análisis de las tasas de cambio de biomasa acumulada en los tratamientos (tabla 5), observamos que las tres tasas de cambio más altas se registraron en los tratamientos T8, T1 y T4 en los días 20, 138 y 165. En el día

20, estas tasas fueron de aproximadamente 0,000553, 0,000447 y 0,000493 gramos por día, respectivamente. Durante el día 138, las tasas de cambio más altas se mantuvieron en los mismos tratamientos, con valores de alrededor de 0,000178, 0,000142 y 0,000159 gramos por día. Por otro lado, las tres tasas de cambio medias se encontraron en los tratamientos T6, T7 y T2, con tasas iniciales de aproximadamente 0,000373, 0,000345 y 0,000391 gramos por día en

el día 20. Durante el día 138, estas tasas se mantuvieron en el mismo orden, con valores de aproximadamente 0,000121, 0,000112 y 0,000126 gramos por día. Finalmente, las tres tasas de cambio más bajas se registraron en los tratamientos T5, T9 y T3, con tasas iniciales de alrededor de 0,000304, 0,000407 y 0,000330 gramos por día en el día 20. En el día 138, estas tasas se mantuvieron, con valores de aproximadamente 0,000101, 0,000130 y 0,000111 gramos por día.

Tabla 5

Ecuaciones, AIC y R² para la biomasa seca total acumulada en el cultivo de maíz bajo diferentes fertilizantes

Tratamiento	Modelo (Logístico)	Tasa de Cambio	20 días	138 días (g/día)	165 días	AIC	BIC	R ²
T1	$y=46.49/1+162.42e^{2.35x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-46.49 \cdot 162.42 \cdot 2.35 e^{2.35x}}{(1+162.42e^{2.35x})^2}$	0.00044718	0.00014242	3.59E-07	87.91	90.74	95.26 %
T2	$y= 53.06/1+179.49e^{2.25x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-53.06 \cdot 179.49 \cdot 2.25 e^{2.25x}}{(1+179.49e^{2.25x})^2}$	0.0003911	0.0001257	3.37E-07	96.36	99.19	93.20 %
T3	$y=50.10/1+200.46e^{2.44x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-50.10 \cdot 200.46 \cdot 2.44 e^{2.44x}}{(1+200.46e^{2.44x})^2}$	0.0003308	0.00011131	3.08E-07	73.73	76.57	98.41%
T4	$y=57.41/1+163.08e^{2.10x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-57.41 \cdot 163.08 \cdot 2.10 e^{2.10x}}{(1+163.08e^{2.10x})^2}$	0.0004931	0.00015899	4.25E-07	103.06	105.89	90.01%
T5	$y=47.65/1+242.69e^{2.68x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-46.49 \cdot 242.69 \cdot 2.68 e^{2.68x}}{(1+242.69e^{2.68x})^2}$	0.00030367	0.00010164	2.78E-07	92.50	95.33	94.61 %
T6	$y=50.13/1+182.31e^{2.37x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-50.13 \cdot 182.31 \cdot 2.35 e^{2.37x}}{(1+182.31e^{2.37x})^2}$	0.0003729	0.00012086	3.42E-07	93.98	96.81	93.97 %
T7	$y=49.65/1+207.42e^{2.52x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-49.65 \cdot 207.42 \cdot 2.52 e^{2.52x}}{(1+207.42e^{2.52x})^2}$	0.00034588	0.00011196	3.20E-07	82.00	84.83	97.32 %
T8	$y=55.81/1+117.31e^{1.98x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-55.81 \cdot 117.31 \cdot 1.98 e^{1.98x}}{(1+117.31e^{1.98x})^2}$	0.00055267	0.00017869	4.75E-07	71.53	74.36	98.49 %
T9	$y=52.22/1+198.89e^{2.32x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-52.22 \cdot 198.89 \cdot 2.32 e^{2.32x}}{(1+198.89e^{2.32x})^2}$	0.00040708	0.00013097	3.55E-07	97.88	100.71	92.60 %

Nota. AIC: criterio de información Akaike; BIC: criterio de información Bayesiano; R²: coeficiente de correlación. Elaboración propia.

Evaluación de cambios en la concentración de minerales en el maíz tras la aplicación de diferentes tratamientos

Las concentraciones minerales a lo largo del tiempo en el cultivo de maíz revelan patrones en la distribución de nutrientes. En el caso del nitrógeno (N), durante el período inicial

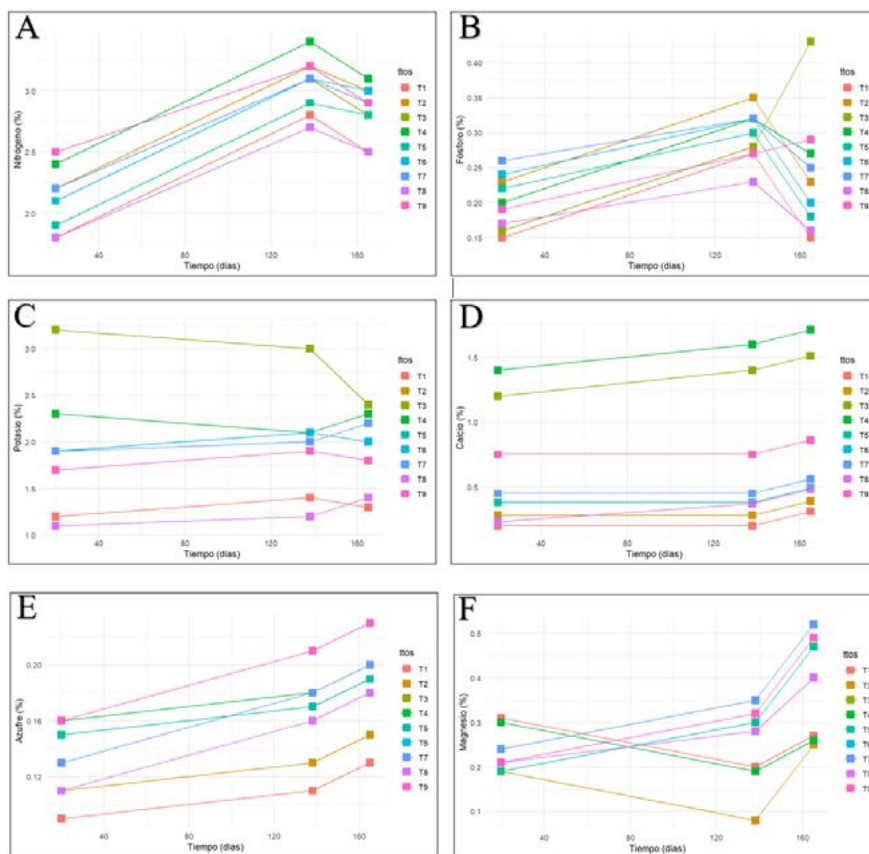
de 20 días, el tratamiento T4 (N-P-K 100 %) tiene la concentración más alta de nitrógeno, manteniendo su posición hasta el día 138, donde se iguala el tratamiento T3 (N-P-K 75 %) que también destaca en este aspecto, y esta tendencia se sostiene hasta el día 165 (Figura 6A).

En cuanto al fósforo (P), en el día 20, es el tratamiento T3 (N-P-K 75 %) el que exhibe la

concentración más elevada, y esta superioridad persiste en los días 138 y 165 (Figura 6B). Similar a lo encontrado en el potasio (K), que en el día 20 muestra notables niveles en los tratamientos T2 (N-P-K 50 %) y T3, y en el día 138, T3 ostenta la concentración más alta de potasio, seguido de cerca por T2 y T4. En el día 165, nuevamente, T3 y T4 poseen la concentración de potasio más elevada de todo el experimento (Figura 6C).

Figura 6

Análisis foliar de macronutrientes



Nota. Elaboración propia.

Respecto al calcio (Ca), los datos indican consistentemente que el tratamiento T4 mantiene una concentración superior a los otros tratamientos (Figura 6D). Para el magnesio (Mg), en el día 20, el T5 (N-P-K 50 % + Si) se destaca con la concentración más alta, y en los días 138 y 165, T3 y T4 (N-P-K 100 %) exhiben niveles notablemente superiores de magnesio (Figura 6F). Para el azufre (S), T3 y T4 son consistentemente los tratamientos de mayor concentración en todos

los intervalos de tiempo (Figura 6E). En el caso del hierro (Fe) no se encuentran diferencias entre los tratamientos en ninguno de los momentos evaluados (Figura 6C). Por su lado el manganeso (Mn), en los días 138 y 165, T3 y T4 se destacan con las concentraciones más altas (Figura 7A).

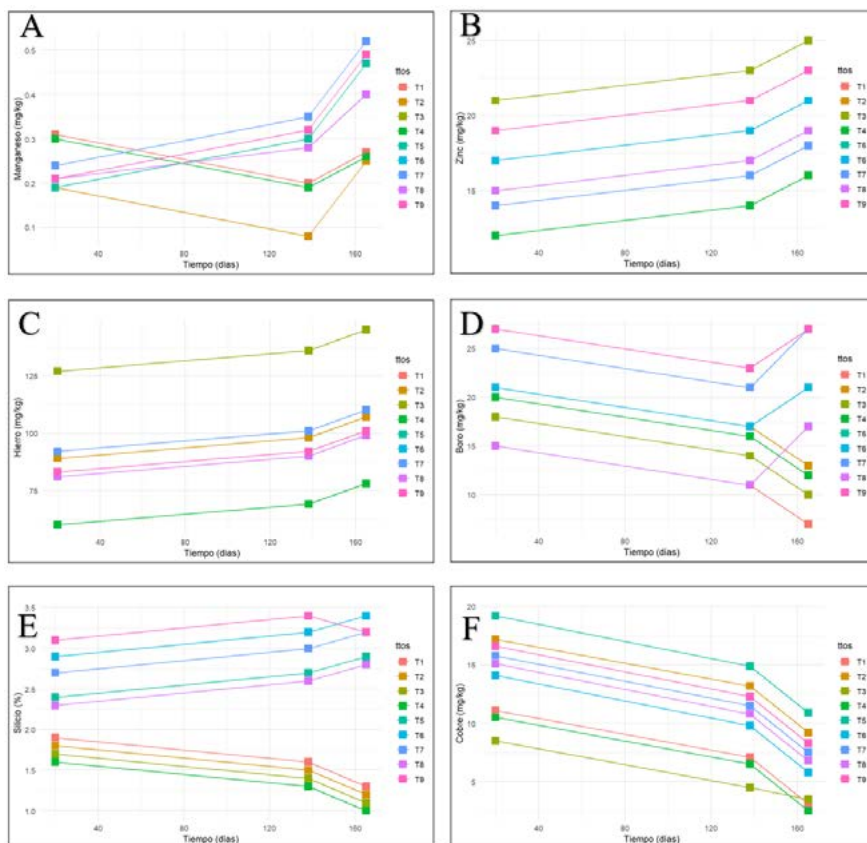
El cobre (Cu) en el día 20 es liderado por T9 (N-P-K 75 % + 1.33 Si), y en los días 138 y 165, T4 muestra una concentración significativamente

alta de cobre (Figura 7F). Para el zinc (Zn), T9 lidera en el día 20, mientras que en los días 138 y 165, T4 se destaca con niveles notables de zinc (Figura 7B).

Finalmente, el boro (B) T9 lidera en el día 20, y esta tendencia se mantiene en los días 138 y 165 (Figura 7D). Para el silicio (Si), el tratamiento T7 (N-P-K 100 % + Si) muestra la concentración más alta en todos los intervalos de tiempo (Figura 7E).

Figura 7

Análisis foliar de micronutrientes



Nota. Elaboración propia.

Discusión

Considerando los resultados obtenidos en este estudio sobre la morfometría y la concentración de minerales en el cultivo de maíz, se destaca la importancia de la fertilización, especialmente en lo que respecta a nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el desarrollo fenológico de las plantas. Los tratamientos que incorporaron una dosis adecuada de estos nutrientes, como se evidencia en los tratamientos T3 y T4, demostraron un crecimiento vegetativo y un desarrollo de hojas óptimo en comparación con otros tratamientos (Barrios y Basso, 2018). Sin embargo, es crucial señalar que la interacción entre los tratamientos y el tiempo tuvo un impacto significativo en las características de altura y número de hojas. Esto sugiere que la administración de nutrientes debe ser cuidadosamente adaptada a las distintas etapas del ciclo de crecimiento del maíz, evitando la sobreestimulación en ciertas fases que pueden resultar en un crecimiento desigual o incluso negativo (Reyes, 2008). Además, la inclusión del silicio (Si) como elemento adicional en algunos tratamientos plantea la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor su efecto en las plantas de maíz, ya que su influencia no fue concluyente en este estudio, coincidiendo con hallazgos previos (Castellanos, Mello & Silva, 2015). En resumen, estos resultados respaldan la idea de una fertilización más precisa y adaptable a las distintas etapas del ciclo de crecimiento del maíz, teniendo en cuenta la variabilidad en las

concentraciones de minerales y la importancia de mantener un equilibrio nutricional para un desarrollo óptimo de las plantas (Salisbury & Ross, 1992; Potash and Phosphate Institute, 1997; Hernández, 1999).

Conclusiones

- Con base en los resultados de este estudio, hemos identificado que la combinación de nutrientes NPK+ ha demostrado ser una opción prometedora para la fertilización del cultivo de maíz. En particular, los tratamientos T3 y T4 que incorporaron esta mezcla exhibieron un crecimiento vegetativo más robusto y un desarrollo de hojas óptimo en comparación con otros tratamientos.
- El análisis comparativo entre la nutrición NPK+ y la fertilización tradicional (NPK) revela resultados destacados en términos de productividad del cultivo de maíz. Los tratamientos que incorporaron la mezcla NPK+, en particular T3 y T4, demostraron un rendimiento significativamente superior en comparación con los tratamientos que utilizaron fertilización tradicional (NPK).
- La evaluación de la incidencia de la nutrición NPK+ en el desarrollo vegetativo del maíz ha arrojado resultados significativos. En particular, los tratamientos T3 y T4, que utilizaron esta combinación nutricional, mostraron un desarrollo vegetativo más robusto en términos de altura de la planta, área foliar y vigor en comparación con otros tratamientos.

Anexos

Análisis de varianza de la altura

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	624	297.1845	<.0001
ttos	8	624	102.2994	<.0001
tiempo	1	624	924.0163	<.0001
ttos:tiempo	8	624	57.8862	<.0001

Análisis de varianza del número de hojas

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	624	78144.81	<.0001
ttos	8	624	6.91	<.0001
tiempo	1	624	352.09	<.0001
ttos:tiempo	8	624	4.39	<.0001

Análisis de varianza del diámetro

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	624	18256.804	<.0001
ttos	8	624	5.057	<.0001
tiempo	1	624	122.643	<.0001
ttos:tiempo	8	624	0.787	0.614

Referencias

- Ackermann, P., Gasparri, N. (2011). Efecto de la intensidad de uso agrícola del suelo sobre el balance de nitrógeno, fósforo y potasio. [Tesis de Ing. Agr]. Montevideo. Facultad de Agronomía.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE T Automat Contr*, 19, 716-723. <https://doi.org/10.1109/tac.1974.1100705>
- Association of Official Analytical Chemists International (2005). AOAC 942.05: Phosphorus (Total) in Fertilizers. <https://www.aoac.org/>
- Attanandana, T., y Yost, R. (2004). Estrategias de manejo de nutrientes por sitio específico. *Informaciones Agronómicas, INPOFOS*, 53. Quito, Ecuador
- Blandino, M., Trapani, S., Vitali, F., Valenti, D. y Platani, C. (2019). Influencia del suministro de macronutrientes en el rendimiento del forraje del maíz, la acumulación de nitratos y la eficiencia en el uso del agua en el entorno mediterráneo. *Fronteras en la ciencia vegetal*, 10, 1078.
- Cakmak, I. (2008). Enriquecimiento de fertilizantes con zinc: Una excelente inversión para la humanidad y la sanidad de los cultivos. *Planta y Suelo*, 322(1-2), 1-2.
- Campuzano, F., & Navas, A. (2006). *Cultivo de maíz*. Corpoica
- Cárdenas, M., et al. (2022). Rendimiento, rentabilidad y eficiencia agronómica de nitrógeno en maíz de seco con fertilización foliar complementaria de Zn y Mo. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(3), 239-249. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.030>
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). (2019). The World Maize Facts and Trends 2020. Recuperado de <https://www.cimmyt.org/app/uploads/2020/10/WP-2020-World-Maize-Facts-and-Trends.pdf>
- DANE (2004). Maíz tecnificado en Colombia.
- Dobermann, A., Witt, C., Dawe, D., Abdulrachman, S., Gines, HC, Nagarajan, R., ... y Simbahan, G.C. (2003). Gestión de nutrientes específica del sitio para sistemas intensivos de cultivo de arroz en Asia. *Investigación de cultivos de campo*, 74(1), 37-66.

- Eghball, B. y Maranville, J.W. (2003). Efectos de la colocación de fósforo y potasio en el rendimiento del maíz y la absorción de nutrientes. *Diario de Agronomía*, 95(6), 1470-1477. <https://doi.org/10.15517/rac.v33i1.6734>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2021). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 2021. Recuperado de <http://www.fao.org/state-of-food-agriculture/es/>
- FENALCE (2010). "El cultivo del maíz, historia e importancia". En: *Importancia de los cultivos presentados por fenalce*. Mayo-junio. pp. 10-19
- Flores, J., Silva, P., Avilés, R., García, MA, & Lira, R. (2016). El maíz (*Zea mays* L.) y su importancia estratégica en México. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 449-459.
- Fussell, B. (1992). *The story of corn*. North Point Press
- González, JA, et al. (2014). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(1), 29-38. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2022.009.03.059>
- González, JA, et al. (2022). Fuentes y dosis de fertilizantes nitrogenados en cultivo de maíz para ensilado. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 559-574.
- Hernández, J. et al. (2015). Fertilización nitrogenada en la producción del germinado de maíz como forraje fresco para la alimentación animal. Informe Técnico. Instituto Tecnológico Superior de la Zona Maya. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v30.n1.6047>
- Herrera-Estrella, L. (2018). El uso de subproductos industriales como fertilizantes agrícolas: una alternativa sostenible. *Ciencias*, 99, 49-56.
- Hogares juveniles campesinos (2004). "Producción agrícola". En: *Manual agropecuario: tecnologías orgánicas de la granja. Vol. 1*. Colombia: Hogares Juveniles Campesinos.
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 2072, 2002). Fertilizantes. Determinación de azufre. <https://www.icontec.org/>
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 259, 1989). Fertilizantes. Determinación de hierro, zinc, manganeso y cobre en extractos acuosos de fertilizantes y mezclas fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
-

- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 295, 1994). Fertilizantes. Determinación de silicio en extractos acuosos de mezclas fertilizantes y fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 303, 1989). Fertilizantes. Determinación de cobre, manganeso, cinc, hierro y plomo en mezclas fertilizantes y fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 309, 1989). Fertilizantes. Determinación de calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso y cobre en extractos acuosos de fertilizantes y mezclas fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 3703, 1998). Fertilizantes. Determinación de boro en extractos acuosos de mezclas fertilizantes y fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1999). NTC 4657: Calidad de suelos. Determinación del nitrógeno total. <https://www.icontec.org/>
- Jiménez-Meza, V., Sánchez-Monteón, A., Ramírez-Guerrero, L., & Navarrete-Valencia, A. (2017). Fertilización con Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el rendimiento de tres variedades de maíz. *Revista de Energía Química y Física*, 4(10), 57-64.
- Kaya, C. Tuna, L. Higgs, D. (2006) Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *J Plant Nutr* 29, 1469–1480. <https://doi.org/10.1080/01904160600837238>
- Korndorfer, G., Lepsch I. (2001). Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndorfer, G. (eds) *Silicon in agriculture. Studies in plant science*. Elsevier, Amsterdam, pp 133–147. [https://doi.org/10.1016/s0928-3420\(01\)80001-x](https://doi.org/10.1016/s0928-3420(01)80001-x)
- Littell, R.C., Henry, P.R. y Ammerman, C.B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J Anim Sci*, 76, 1216-1231. <https://doi.org/10.2527/1998.7641216x>
- Littell, R.C., Pendergast, J. and Natarajan, R. (2000). Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Stat Med*, 19, 1793-1819. <https://doi.org/10.2527/1998.7641216x>
-

- López, L. A., & Rivas, T. F. (2020). Desafíos de la seguridad alimentaria en Colombia: una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 83-94.
- Méndez, D., Guevara, P., Torres, C., & Camacho, K. (2012). Perspectivas del cultivo de maíz, primer semestre de 2012. Colombia: Departamento de Información Económica y Estadística: Fenalce.
- Minagricultura (2021). Maíz. Dirección de cadenas agrícolas y forestales.
- Mora, M. L., et al. (2017). Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 215-226. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27127>
- Roacho-Cortés, A.E. (2020). *Rangos críticos de nitrógeno en maíz: mediciones in situ*. [Tesis de maestría]. Colegio de Postgraduados. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4346/1/Roacho_Cortes_EE_MC_Edafologia_2020
- Sánchez, R. M., Aníbal, G. O., & María, L. C. (2020). Estrategias de manejo de nutrientes para la producción de maíz: una revisión. *Agronomía*, 10(3), 452.
- Schwarz, G.E. (1978). Estimating the dimension of a model. *Ann Stat*, 6, 461-464.
-

Disolución in vitro de grasa sobrepasante con lisina en soluciones con diferentes pH como alternativa proteico-energética en bovinos*

In vitro dissolution of bypass fat with lysine in solutions with different pH levels as a protein-energy alternative for cattle

**Simón Castro Valencia¹, Sebastián Jurado Castañeda²,
William Armando Tapie Canacuan³ y
Carlos Santiago Escobar Restrepo⁴**

1 Semillero SENAR (UCO). Correo: simoncastro12@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7623-1137>

2 Semillero SENAR (UCO). Correo: sebas.jc1998@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3859-4544>

3 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: william.tapie@udea.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7064-6753>

4 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: csescobar@ces.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3955-484X>

* Trabajo vinculado al Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente, y al Grupo de Investigación INCA-CES, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES. Contacto: csescobar@ces.edu.co

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de disolución in vitro de la grasa sobrepasante enriquecida con lisina en soluciones con diferentes pH, con miras a su uso como alternativa proteico-energética en bovinos. El estudio incluyó tres fases. En la Fase I se elaboraron 500 g de grasa sobrepasante utilizando aceite de palma, carbonato de calcio, hidróxido de sodio, agua y HCl-Lisina. En la Fase II, se evaluó la desaparición de la grasa a seis niveles de pH (2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 y 7,5) utilizando bolsas de nylon inmersas en solución durante 0, 2, 4, 12, 24, 36 y 48 horas. Y, en la Fase III, se analizaron los pH extremos (2,5 y 7,5) para determinar la retención de lisina en las fases líquida y sólida tras 48 horas

de inmersión. El producto obtenido presentó un color amarillo caramelo, sabor amargo, olor a detergente y textura sólida. El pH 7,5 mostró la mayor desaparición (85,33 %) a las 7 horas, mientras que el pH 2,5 alcanzó un 65,82 % a las 10 horas. Los pH intermedios tuvieron valores máximos similares (promedio de 76,47 %) en diferentes tiempos. No se detectaron residuos de proteína (Lisina) en las fases líquida o sólida. La grasa sobrepasante formulada es adecuada para su uso en rumiantes; sin embargo, la grasa no tuvo la capacidad de proteger la inclusión de la HCl-Lisina ni mostró una asociación clara con la desaparición según el pH.

Palabras clave

Alimentación, Aminoácidos, Nutrición, Proteína sobrepasante, Rumen.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the in vitro dissolution capacity of bypass fat enriched with lysine in solutions with different pH levels, aiming for its use as a protein-energy alternative for cattle. The study comprised three phases. In Phase I, 500 g of bypass fat were prepared using palm oil, calcium carbonate, sodium hydroxide, water, and HCl-lysine. In Phase II, the fat disappearance was assessed at six pH levels (2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, and 7.5) using nylon bags immersed in solution for 0, 2, 4, 12, 24, 36, and 48 hours. In Phase III, the extreme pH levels (2.5 and 7.5) were analyzed to determine lysine retention in the liquid and solid phases after 48 hours of immersion. The

product obtained had a caramel-yellow color, bitter taste, detergent-like odor, and solid texture. At pH 7.5, the highest disappearance (85.33 %) occurred at 7 hours, while at pH 2.5, a disappearance of 65.82% was reached at 10 hours. Intermediate pH levels showed similar maximum disappearance values (average 76.47%) at different times. No protein (lysine) residues were detected in the liquid or solid phases. The formulated bypass fat is suitable for use in ruminants; however, it did not protect the inclusion of HCl-lysine and showed no clear association between disappearance and pH.

Keywords

Amino acids, Bypass protein, Feeding, Nutrition, Rumen.

Introducción

El ganado bovino desempeña un papel fundamental en la transformación de pastos, forrajes y suplementos en productos alimenticios esenciales para el consumo humano, como leche, carne y queso. Esta actividad contribuye significativamente a la seguridad alimentaria mundial al proporcionar fuentes de proteína y energía que satisfacen los requerimientos nutricionales de la población. Sin embargo, el uso predominante de pastos como base de la alimentación bovina presenta limitaciones importantes, ya que estos no logran cubrir completamente las necesidades nutricionales de los animales, requiriéndose la suplementación con otras fuentes para optimizar la productividad. En Colombia, los forrajes presentan un bajo contenido de proteína cruda (Carulla et al., 2004), lo que hace indispensable el uso de suplementos que mejoren el aporte proteico. La fracción de proteína dietética que escapa a la fermentación ruminal, conocida como proteína bypass o sobrepasante, puede contribuir significativamente al metabolismo animal si es altamente digestible en el intestino. Dentro de los aminoácidos esenciales más limitantes en la síntesis proteica de tejidos y glándula mamaria se encuentran la metionina y la lisina (Ansaldogutiérrez, 2000).

A principios de los años 80, Palmquist et al. (1986) desarrollaron una metodología innovadora para proteger grasas en el rumen mediante la saponificación con calcio, produciendo jabones cálcicos o grasas sobrepasantes. Estas tecnologías, ampliamente utilizadas por su economía y efectividad, ofrecen una alternativa viable para mejorar la productividad animal aportando ácidos grasos y energía a nivel intestinal. En esta investigación, se evaluó la protección de lisina mediante un jabón cálcico, determinando su dinámica de solubilidad in vitro en soluciones con diferentes niveles de pH. Este enfoque busca garantizar que la lisina llegue al intestino delgado, donde puede ser absorbida eficientemente, contribuyendo así a mejorar los resultados productivos en bovinos.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se desarrolló en la Universidad Católica de Oriente, ubicada en el municipio de Rionegro, Antioquia, con una Latitud: 06° 09' N Longitud: 75° 22' W Altitud: 2125 m.s.n.m. El montaje y seguimiento del trabajo se evaluó bajo condiciones del laboratorio con una temperatura de 23°± 2,0 y una humedad de 62 %±0,1.

El experimento estuvo dividido en tres fases: la elaboración y estandarización de la grasa sobrepasante con lisina, la solubilidad del producto a diferentes pH y la determinación de la capacidad de retención de la lisina como sobrepasante.

Fase I. Elaboración de la grasa sobrepasante con lisina

Para la elaboración de 500 g de grasa sobrepasante se emplearon los siguientes materiales: aceite de palma, carbonato de calcio, hidróxido de sodio (soda cáustica), agua y HCl-Lisina. El proceso inició con el precalentamiento del recipiente durante 5 minutos. Una vez alcanzada la temperatura adecuada, se añadieron 296 g de aceite de palma. Al observar la formación de burbujas en el aceite, se incorporaron gradualmente 115 g de carbonato de calcio previamente disuelto en agua. Tras 15 minutos de mezcla continua, se añadieron 41 g de hidróxido de sodio junto con 250 ml de agua para completar la reacción química. La mezcla se agitó continuamente durante 5 minutos hasta alcanzar una consistencia viscosa con formación de grumos sólidos. En este punto, se retiró del calor y se continuó agitando manualmente. Cuatro minutos después de apagar el fuego, y antes de que la mezcla se solidificara por completo, se adicionaron 90 g de lisina, asegurándose de que se integrara de manera homogénea. Posteriormente, la mezcla se prensó utilizando un cedazo para eliminar restos líquidos. El producto obtenido se dejó en reposo durante 3 días, tras lo cual se ralló y empacó para su uso posterior.

Fase II. Estudio de solubilidad in vitro de la grasa sobrepasante

Para evaluar la solubilidad, se prepararon seis recipientes con 6000 ml de agua cada uno, ajustando el pH para obtener seis tratamientos específicos: 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 y 7,5. El pH ácido se estabilizó con ácido clorhídrico (HCl), mientras que el pH básico se ajustó utilizando hidróxido de sodio (NaOH). La estabilidad del pH se monitoreó continuamente con un pH-metro. Una vez estabilizados los valores de pH, se emplearon bolsas de nylon (10 x 10 cm, con un tamaño de poro de 50 μm) para contener un promedio de $1,062 \pm 0,156$ g de grasa sobrepasante por bolsa. Se utilizaron 21 bolsas por tratamiento, distribuidas en tres repeticiones para cada uno de los siete tiempos de incubación: 0, 2, 4, 12, 24, 36 y 48 horas. Las bolsas se suspendieron en la solución mediante una cadena de acero, asegurando un orden de inmersión y de sacado que minimizara interrupciones de la exposición de las bolsas a la solución, comenzando con las muestras del tiempo más corto (2 horas) y terminando con las de 48 horas. Durante el experimento, se verificó el pH de las soluciones cada hora para mantener la estabilidad durante la inmersión. Al retirar las bolsas, estas se colocaron en una estufa de convección a una temperatura constante de 65 °C durante 48 horas para su posterior pesaje y determinación de la materia seca (MS).

La dinámica de desaparición en función del pH y del tiempo de inmersión se analizó mediante modelos matemáticos que permitieron calcular tres fracciones para cada tratamiento:

a = intercepto con el eje Y en el tiempo cero. Esta representa el sustrato soluble y completamente degradable que sale rápidamente del saco de nylon.

b = la diferencia entre el intercepto (a) y la asíntota. Representa la fracción insoluble pero potencialmente degradable del sustrato.

c = 1- (a+b) = representa la fracción no soluble de la muestra.

Fase III. Análisis químico y bromatológico

Para evaluar si la porción proteica (HCl-Lisina) era efectivamente protegida por la grasa sobrepasante, se emplearon dos *beakers* con 1200 ml de agua cada uno, ajustados a los pH más contrastantes: 2,5 y 7,5. En cada *beaker* se adicionaron 220 g de grasa sobrepasante, dejando las muestras en reposo durante 48 horas. Durante este tiempo, se monitoreó regularmente el pH y se agitó periódicamente la mezcla para mantener la estabilidad del pH. Al finalizar el periodo de incubación, las mezclas fueron filtradas utilizando un cedazo para separar las fases sólida y líquida. La fase sólida fue sometida a secado en una estufa de convección a temperatura constante, mientras que ambas fases (sólida y líquida) fueron rotuladas y enviadas al laboratorio para el análisis de proteína bruta (PB) mediante el método de Kjeldahl, siguiendo los estándares descritos por la AOAC (2005).

Análisis estadístico

Para el análisis de las variables correspondientes al porcentaje de desaparición/solubilidad, se evaluaron diferentes modelos no lineales

(Tabla 1) y se determinó el mejor ajuste a partir del criterio de información Akaike (AIC) y coeficiente de correlación R². La comparación entre tratamientos se hizo a partir del intervalo de confianza (IC) de los modelos seleccionados, interpretando que cuando los IC se traslapan no existen diferencias estadísticas. Se consideró un α de 0,05. Se utilizó el programa *Past* versión 4.1.

Tabla 1

Modelos evaluados para las curvas de desaparición de la materia seca de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH

Modelo	Ecuación	Autor
Lineal	$y=ax+b$	Nelder & Wedderburn
Cuadrático	$y=ax^2+bx+c$	
Von Bertalanffy	$y=\frac{a}{1+be^{-cx}}$	Von Bertalanffy, Ludwig
Logístico	$y=a*(1-be^{-cx})$	Wright, Edward
Gomperzt	$y=a(b^{cx})$	Gompertz, Benjamin
Gaussiano	$y=\frac{ae^{-(x-b)^2}}{2z}$	Gauss, Carl Friedrich
Exponencial	$y=a-(a*e^{-c*x})$	

Nota. Elaboración propia.

Resultados

Fase I. Elaboración de la grasa sobrepasante con lisina

En la realización de la grasa sobrepasante con la adición de la lisina, después de utilizar todos los materiales y con las cantidades explicadas anteriormente, se obtuvo un producto al cual

se le realizó un examen organoléptico con el fin de determinar las diferentes características como un color amarillo caramelo, un sabor amargo, con un olor a detergente, con una textura sólida, áspera y húmeda (Imagen 1). Las características nutricionales calculadas esperadas son 59,2 % de grasa, 23,2 % de calcio y 18 % de proteína.

Imagen 1

Grasa sobrepasante con HCl-Lisina, producto finalizado y rayado



Nota. Elaboración propia

Fase II. Estudio de solubilidad in vitro de la grasa sobrepasante

El modelo que obtuvo mejor ajuste fue el de Gompertz. En la Tabla 2 se muestran las

ecuaciones halladas para cada pH con los respectivos AIC y R2.

Tabla 2

Ecuaciones, AIC y R2 para la dinámica de porcentaje de desaparición de la materia seca de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH

pH	Ecuaciones (Gompertz)	AIC	R2
7,5	$y=85,354*\exp(-0,92078*\exp(-1,3698x))$	81,88	0,99
6,5	$y=73,051*\exp(-1,2179*\exp(-1,0962x))$	299,94	0,94
5,5	$y=76,436*\exp(-0,92227*\exp(-18,72x))$	308,08	0,93
4,5	$y=67,238*\exp(-0,65251*\exp(-0,77179x))$	809,95	0,65
3,5	$y=79,1*\exp(-1,418*\exp(-0,84285x))$	39,47	0,99
2,5	$y=72,9*\exp(-0,64614*\exp(-0,65309x))$	148,69	0,91

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

En el modelo Gompertz (Tabla 2), el parámetro "a" representa el valor máximo de desaparición porcentual. Para el pH 7,5, se alcanzó el porcentaje de desaparición más alto (85,35 %) a las 8 horas, destacándose como el tratamiento con mayor desaparición. En contraste, el pH 4,5 presentó el menor valor máximo de desaparición (67,23 %) alcanzado a las 14 horas. Los tratamientos con pH 6,5 y 2,5 mostraron valores máximos de desaparición similares, 73,05 % y 72,9 %, respectivamente, alcanzados a las 11 y 17 horas. Por su parte, el pH 5,5 logró su valor

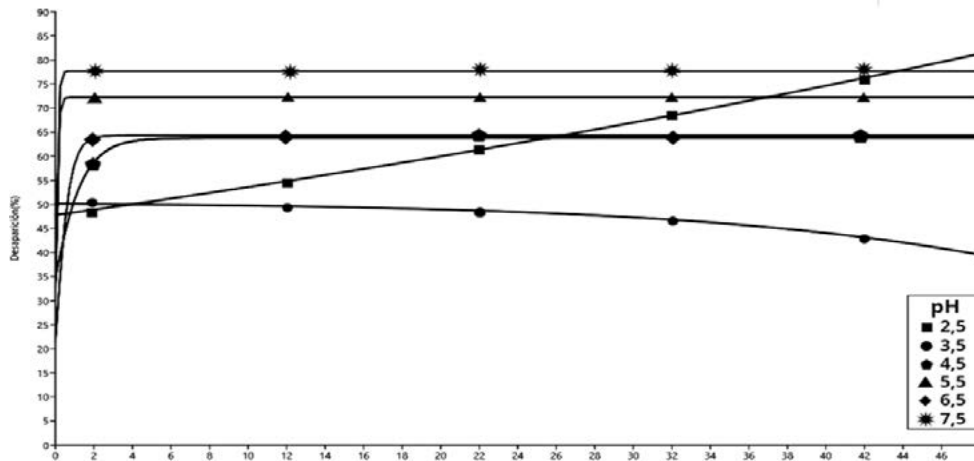
máximo de desaparición (76,43 %) en el menor tiempo, a las 0,64 horas. Finalmente, el pH 3,5 alcanzó un 79,1 % de desaparición a las 14 horas. Entre las horas 4 y 12, los valores de desaparición se estabilizaron para todos los tratamientos. Por esta razón, y como se observa en la Gráfica 2, las comparaciones entre los diferentes pH se realizaron hasta la

hora 4. En la Gráfica 1, se presenta la dinámica de desaparición de la materia seca (MS) durante un periodo de 48 horas.

En la Tabla 3 se resumen los tiempos necesarios para alcanzar el valor máximo de desaparición de la MS (asíntota), así como los valores de los parámetros "a", "b" y "c" que describen la dinámica de desaparición.

Gráfica 1

Dinámica del porcentaje de desaparición de la materia seca (MS) de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH en 48 horas



Nota. Elaboración propia.

Tabla 3

Fracciones de la desaparición de la materia seca de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH

pH	Hora Máxima ¹	a	b	c
7,5	8,00	33,90	51,37	14,65
6,5	11,00	21,61	51,44	26,95
5,5	0,64	30,39	46,04	23,56

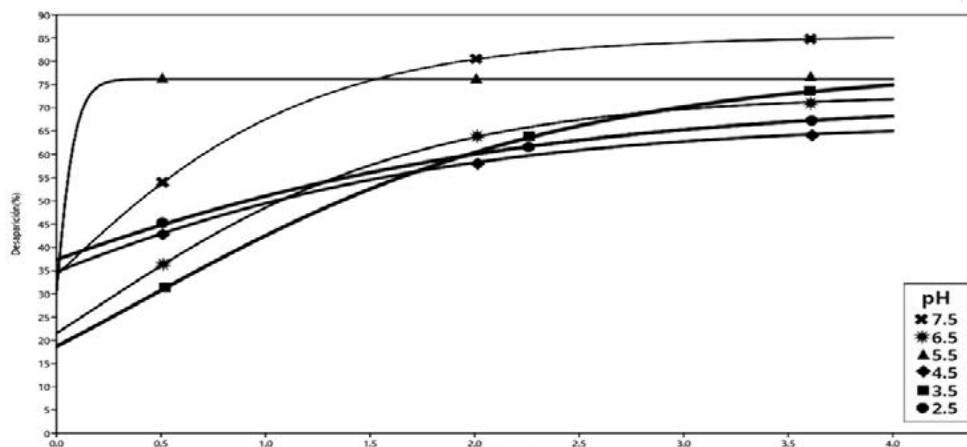
pH	Hora Máxima ¹	a	b	c
4,5	14,00	35,01	32,22	32,76
3,5	14,00	19,16	59,94	20,90
2,5	17,00	37,69	35,21	27,10

Nota. Hora para alcanzar el valor máximo de porcentaje de desaparición; a, interceptó con el eje.

Y en el tiempo cero. Esta representa el sustrato soluble y completamente degradable que sale rápidamente del saco de nylon; b, la diferencia entre el intercepto (a) y la asíntota. Representa la fracción insoluble pero potencialmente degradable del sustrato; c, $1 - (a+b)$: representa la fracción no soluble de la muestra.

Gráfica 2

Dinámica de % de desaparición de la MS de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH en 4 horas



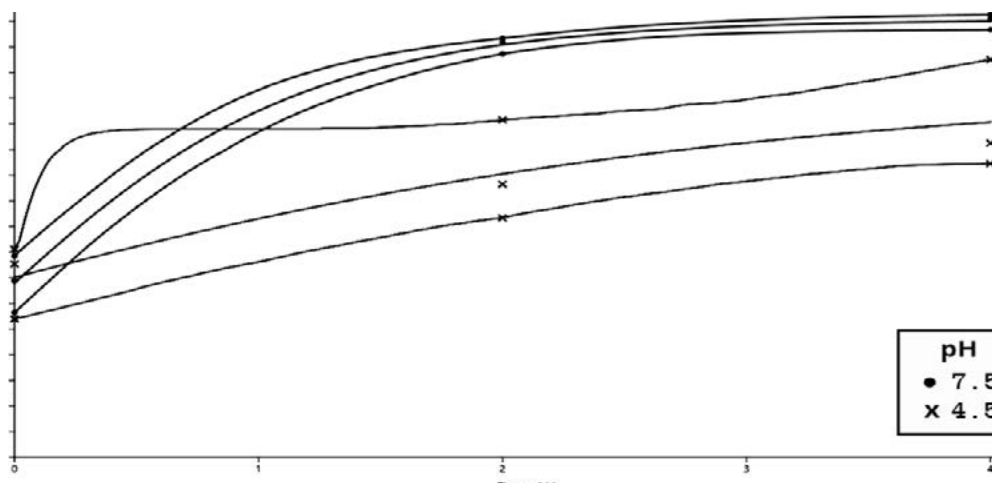
Nota. Elaboración propia.

La gráfica 3 muestra el porcentaje de desaparición de la grasa sobrepasante en función del tiempo para los pH 7,5 y 4,5. Al inicio del experimento (hora 0), el porcentaje de desaparición fue de 33,98 % para el pH 7,5 y 35,01 % para el pH 4,5. En este punto, no se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos. No obstante, a partir de la hora 1, se evidenciaron diferencias estadísticas significativas, con el pH 7,5

alcanzando un porcentaje de desaparición del 67,54 % frente al 49,73 % del pH 4,5. En la hora 4, esta diferencia estadística se mantuvo, observándose que el pH 7,5 alcanzó su valor más alto de desaparición (85,03 %), mientras que el pH 4,5 registró el valor más bajo (65,26 %). Estos resultados resaltan la influencia del pH en la dinámica de desaparición de la grasa sobrepasante a lo largo del tiempo.

Gráfica 3

Comparación de la dinámica de desaparición entre el pH 7,5 y 4,5 en 4 horas

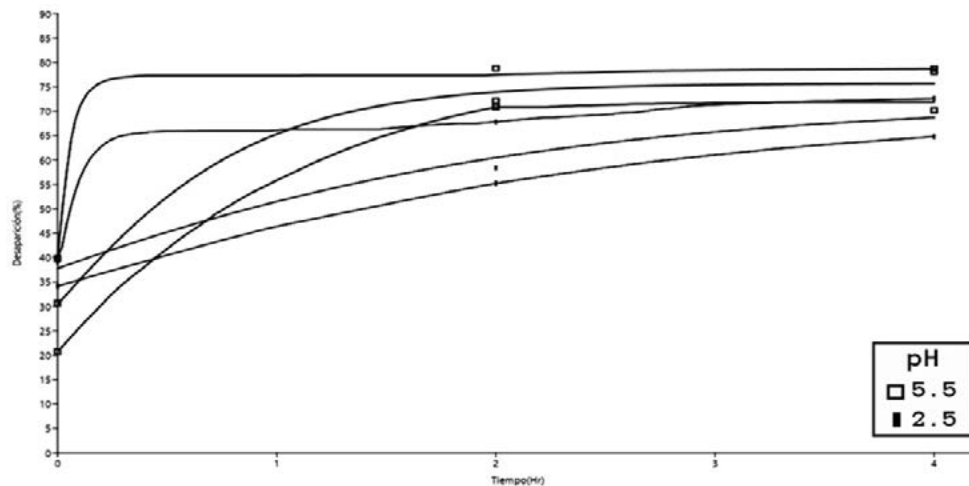


Nota. Elaboración propia.

La gráfica 4 muestra el porcentaje de desaparición de la grasa sobrepasante en función del tiempo para los pH 5,5 y 2,5. Este pH alcanzó su valor máximo de desaparición (76,43 %) en el menor tiempo (0,64 horas) en comparación con el pH 2,5, el cual alcanza su valor máximo de 72,90 % a las 17 horas. Se encuentran entonces diferencias estadísticas constantes desde la hora 1,5 hasta la hora 4 del estudio.

Gráfica 4

Comparación de la dinámica de desaparición entre el pH 5,5 y 2,5 en 4 horas

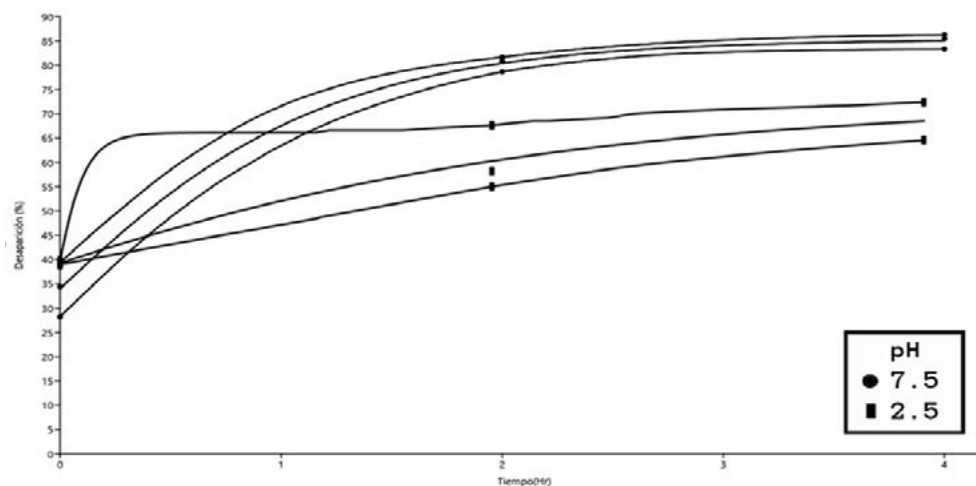


Nota. Elaboración propia.

La gráfica 5 muestra el porcentaje de desaparición de la grasa sobrepasante en función del tiempo para los pH 7,5 y 2,5. A la pH 2,5 es de 61,19 % desde la hora dos (2); a partir de este punto ambos pH son estadísticamente diferentes.

Gráfica 5

Comparación de la dinámica de desaparición entre el pH 7,5 y 2,5 en 4 horas



Nota. Elaboración propia.

La comparación del porcentaje de desaparición de la grasa sobrepasante en función del tiempo para los pH 4,5 y 3,5 no mostró ninguna diferencia estadística.

Fase III. Análisis químico y bromatológico

Al momento de contrastar los dos pH de 7,5 y 2,5, estos mostraron un comportamiento totalmente diferente. Para el pH 2,5 se evidenció una separación de la grasa sobrepasante en dos capas, una capa sólida con textura grasosa y esponjosa que se ubicó en la parte superior del recipiente y otra capa totalmente líquida en la parte inferior (Imagen 2). En contraste, el pH 7,5 presentó la separación en 3 capas, una pequeña capa en la parte superior con textura grasosa, en la parte media una capa líquida turbia y en la parte inferior presentó una capa más sólida donde se evidenció la separación del calcio con el resto de los ingredientes y se precipitó.

Imagen 2

Contraste visual entre los pH 7,5 y 2,5 de la grasa sobrepasante con HCl-Lisina



Nota. A la izquierda pH 7,5; derecha 2,5.

El resultado final del análisis del cálculo de contenido de proteína cruda fue de <2.5 g/100 g para la parte sólida y líquida de los pH 2,5 y 7,5.

Discusión

Fase I. Elaboración de la grasa sobrepasante con lisina

Las grasas sobrepasantes son una fuente concentrada de energía esencial para los animales, lo que ha llevado al desarrollo de diversos métodos de formulación. Proaño et al. (2015) evaluaron la saponificación de dos tipos de materias primas grasas, cebo ovino (origen animal) y residuos de aceite de palma (origen vegetal), utilizando diferentes compuestos químicos: hidróxido de sodio, hidróxido de potasio e hidróxido de calcio. Los resultados mostraron diferencias significativas entre estos métodos. En este estudio, se optó por utilizar hidróxido de calcio para saponificar el aceite de palma, ya que Proaño et al. (2015) destacan que esta combinación ofrece beneficios importantes: no afecta el metabolismo ruminal, es insoluble en el rumen, resiste la acción enzimática de los microorganismos y no interfiere con la digestión de la fibra.

Para complementar proteicamente el jabón cálcico, se adicionó lisina con el objetivo de proteger este aminoácido esencial de la degradación ruminal mediante encapsulación en la matriz grasa. Según Cardona (2020), la lisina es un aminoácido hidrófilo y esencial, lo que implica que no posee afinidad natural por grasas o aceites vegetales. Durante

el proceso de fabricación, la mezcla de grasa sobrepasante y lisina fue expuesta a temperaturas superiores a 120 °C, lo que pudo causar alteraciones en la estructura química de la lisina, como desnaturalización, reacciones de Maillard y degradación térmica (Kuklinski, 2003). Para reducir estas pérdidas, se recomienda emplear técnicas que optimicen las condiciones de temperatura y tiempo, así como el uso de aditivos o tratamientos específicos para estabilizar la lisina y preservar su calidad nutricional.

Además de la temperatura, el pH desempeña un papel fundamental en la estabilidad y disponibilidad de la lisina. Debido a su estructura química, que incluye un grupo amino (-NH₂) y un grupo carboxilo (-COOH), la lisina puede comportarse como ácido o base dependiendo del pH del medio. En un pH básico, la lisina es más estable y menos propensa a la degradación o a reacciones químicas no deseadas, lo que favorece su solubilidad y biodisponibilidad. En contraste, en condiciones de pH ácido, la lisina tiende a ser menos estable y más susceptible a degradarse o sufrir reacciones químicas indeseables (Teijón, 2006).

En términos generales, un pH neutro o ligeramente básico se considera óptimo para mantener la estabilidad y disponibilidad de la lisina en las dietas animales. Sin embargo, es crucial considerar las interacciones complejas entre el pH y otros factores durante el proceso de formulación para garantizar la calidad nutricional de la lisina y su eficacia en las

dietas animales. Este conocimiento subraya la importancia de ajustar las condiciones de procesamiento y las estrategias de formulación para maximizar los beneficios nutricionales de las grasas sobrepasantes enriquecidas con lisina.

Fase II. Estudio de solubilidad in vitro de la grasa sobrepasante

Ansaldó-Gutiérrez (2000) estudió la cinética de degradación de los aminoácidos lisina y metionina utilizando la técnica de incubación de bolsas de nylon en novillos fistulados. Las bolsas, que contenían aminoácidos protegidos y sin proteger, fueron incubadas durante tiempos secuenciales (0, 2, 4, 8, 24 y 48 horas). Al finalizar cada intervalo, los contenidos de las bolsas se retiraron para su análisis químico y se determinó el porcentaje de desaparición de los aminoácidos. Sin embargo, los resultados obtenidos no se ajustaron a los modelos cinéticos esperados, lo que sugiere que esta técnica no es adecuada para evaluar la degradación de compuestos altamente solubles como los aminoácidos estudiados. En este contexto, Nozière & Michalet-Doreau (1996) también concluyen que la técnica de diálisis o difusión en bolsas de nylon no es apropiada para medir la disponibilidad de compuestos solubles como la lisina y otros aminoácidos. Esto se debe a que dichos compuestos tienden a escapar de las bolsas independientemente de su degradación, lo que podría llevar a resultados imprecisos. En su lugar, estos autores sugieren métodos alternativos, como la medición de aminoácidos plasmáticos, para obtener datos

más confiables. Contrariamente, Villalobos et al. (2000) proponen que esta técnica es válida para medir la solubilidad de aminoácidos debido a la permeabilidad selectiva de la membrana de nylon, que permite la difusión de aminoácidos mientras retiene moléculas de mayor tamaño. No obstante, enfatizan que la solubilidad puede verse afectada por otros factores, como las condiciones del medio.

En relación con los resultados obtenidos en este estudio, se observó que el jabón cálcico presenta una alta solubilidad en un pH de 7,5, debido a la formación de iones hidroxilo (OH^-) en el agua, facilitando la disolución. En contraste, en un pH de 2,5, el jabón cálcico es insoluble, ya que no hay suficientes iones OH^- para reaccionar y formar iones de calcio (Ca^{2+}). Este comportamiento coincide con lo reportado por Pérez (2017), quien describe que, aunque el carbonato de calcio puede reaccionar con ácidos fuertes para formar sales de calcio solubles en agua, esto no implica que sea soluble por sí mismo a pH ácido. Adicionalmente, la solubilidad de la grasa sobrepasante varía según factores como la concentración de calcio y de ácidos grasos. En general, los jabones cálcicos son menos solubles en agua que los jabones de sodio o potasio. Según Varó (2002), la solubilidad de los jabones cálcicos puede reducirse significativamente en presencia de altas concentraciones de calcio, ya que los iones Ca^{2+} tienden a formar precipitados insolubles con los iones de ácidos grasos, disminuyendo así la solubilidad del jabón.

Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar tanto las condiciones de pH como las interacciones químicas durante el diseño y la evaluación de jabones cálcicos con adición de lisina como componentes de grasas sobrepasantes, asegurando su estabilidad y funcionalidad en las aplicaciones nutricionales.

Fase III. Análisis químico y bromatológico

Quitral et al. (2001) estudiaron el contenido de lisina disponible en diferentes tiempos de calentamiento y temperaturas, encontrando que este aminoácido, al ser sometido a altas temperaturas, experimenta un proceso inicial de desnaturalización de proteínas. Esto facilita el desplegamiento y la disociación de las moléculas proteicas, exponiendo los grupos amino libres en la superficie molecular. Sin embargo, cuando el calentamiento se prolonga, las proteínas desplegadas tienden a interactuar entre sí formando agregados. Este fenómeno resulta en el bloqueo de los grupos amino libres de lisina, reduciendo su disponibilidad.

En este estudio, la determinación de proteína bruta mediante el método de Kjeldahl no detectó niveles cuantificables de proteína en las muestras analizadas. Según la literatura, esto podría deberse a que las altas temperaturas provocaron la separación del grupo cetóico de la lisina de su grupo amino. Este último pudo haber sido transformado en amonio, que posteriormente se volatilizó durante el proceso térmico (Alaiz et al., 1992).

La ausencia de detección de nitrógeno mediante el método de Kjeldahl respalda la hipótesis de que el calentamiento excesivo no solo afecta la estructura de las proteínas, sino que también conduce a la pérdida de compuestos nitrogenados esenciales, como los grupos amino, debido a la volatilización. Estos resultados subrayan la importancia de controlar cuidadosamente las condiciones de temperatura y tiempo durante el procesamiento térmico de alimentos o aditivos para preservar la calidad y disponibilidad de aminoácidos esenciales como la lisina.

Conclusiones

La formulación del jabón cálcico a partir de aceite de palma, carbonato de calcio, hidróxido de sodio y HCl-Lisina permitió obtener un producto con características físicas adecuadas para su manejo, almacenamiento y suministro como grasa sobrepasante en rumiantes. Sin embargo, las condiciones de temperatura y tiempo durante el proceso pudieron afectar negativamente la estabilidad de la lisina, desnaturalizándola e impidiendo su protección efectiva.

El pH tuvo una influencia significativa en la solubilidad de la grasa sobrepasante. Los mayores porcentajes de desaparición se observaron en pH 7,5, mientras que los valores más bajos ocurrieron en pH 4,5. Aunque se esperaba que los pH ácidos favorecieran la desaparición y los básicos la redujeran, los resultados no mostraron

un patrón claro. Esto indica la necesidad de explorar más factores que puedan afectar la dinámica de solubilidad.

El análisis químico y bromatológico mostró que la grasa sobrepasante no logró proteger la lisina de la degradación, independientemente del pH (2,5 y 7,5). Esto sugiere que las condiciones del proceso de elaboración (temperatura y pH) afectaron negativamente la estabilidad y disponibilidad de la lisina, la cual no fue detectable mediante el método de Kjeldahl.

La producción de grasa sobrepasante sigue siendo una estrategia viable para aportar energía a los rumiantes. Sin embargo, la adición de HCl-Lisina no resultó ser una estrategia efectiva para proteger este aminoácido bajo las condiciones evaluadas. Futuros estudios deben considerar ajustes en las variables del proceso y la incorporación de tecnologías avanzadas que optimicen la estabilidad y la protección de aminoácidos esenciales.

Referencias

- Alaiz, M., Navarro, J. L., Girón, J., & Vioque, E. (1992). Amino acid analysis by high-performance liquid chromatography after derivatization with diethyl ethoxymethylenemalonate. *Journal of Chromatography A*, 591(1-2), 181-186. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(92\)80236-n](https://doi.org/10.1016/0021-9673(92)80236-n)
- Ansaldo-Gutiérrez, C. G. (2000). Estudio de la cinética de degradación y metabolismo ruminal de dos aminoácidos sometidos a diferentes métodos de protección.
- AOAC. (2000). *Official methods of analyses of the Association of Official Agricultural Chemists* (17th ed.). AOAC International Suite 400, 2200 Wilson Boulevard, Arlington, Virginia, USA.
- Cardona Serrate, F. (2020). Proteínas y aminoácidos en alimentos. Alteraciones.
- Carulla, J., Cárdenas, E., Sánchez, N., & Riveros, C. (2004). Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana. *Seminario Nacional de Lechería Especializada: "Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad"*. Medellín, septiembre, 1, 21-38. <https://doi.org/10.14409/fave.v7i1.2997>
- Kuklinski, C. (2003). *Nutrición y bromatología*. Omega.
- Nozière, P., & Michalet-Doreau, B. (1996). Validation of in sacco method: influence of sampling site, nylon bag or rumen contents, on fibrolytic activity of solid-associated microorganisms. *Animal feed science and technology*, 57(3), 203-210. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00851-9](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00851-9)
- Palmquist, D. L., Jenkins, T. C., & Joyner Jr, A. E. (1986). Effect of dietary fat and calcium source on insoluble soap formation in the rumen. *Journal of dairy science*, 69(4), 1020-1025. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(86\)80497-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(86)80497-0)
- Pérez, M. F. P. (2017). Elaboración de jabón cálcico a partir de sebo de reses faenadas en la provincia cercado del departamento de tarija, para uso en alimento balanceado: *Proyecto de Grado* (Modalidad, Investigación Aplicada). *Repositorio UAJMS*. <https://doi.org/10.26439/ulima.tesis/5828>

- Proaño, F., Stuart, J. R., Chongo, B., Flores, L., Herrera, M., Medina, Y., & Sarduy, L. (2015). Evaluación de tres métodos de saponificación en dos tipos de grasas como protección ante la degradación ruminal bovina. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(1), 35-39.
- Quitral, V., Abugoch, L., Vinagre, J., & Larraín, M. (2001). Efecto de tratamientos térmicos sobre el contenido de lisina disponible en carne de jaiba mora (*Homalaspis plana*). *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 51(4), 382-385.
- Teijón, J. M. (2006). *Fundamentos de bioquímica estructural*. Editorial Tébar.
- Varó Galvañ, P. J. (2002). *Contribución al estudio sobre el comportamiento ambiental y degradación de jabones*.
- Villalobos, C., González, E., & Ortega, J. A. (2000). Técnicas para estimar la degradación de proteína y materia orgánica en el rumen y su importancia en rumiantes en pastoreo. *Técnica Pecuaria en México*, 38(2), 119-134.

Protocolo para la propagación por esquejes de plantas de botón de oro (*Tithonia diversifolia*)*

*Protocol for propagation by cuttings of buttercup plants (*Tithonia diversifolia*)*

***Nelson J. Montoya-Pérez¹, Carlos Leonardo Guerra-Marín²,
Emily Chica-García³, Jhonny A. Bedoya Quiceno⁴
y Samir Julián Calvo-Cardona⁵***

1 Grupo de investigación en Biotecnología. Correo: nmontoya@uco.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-5153>

2 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: cguerra@uco.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9657-6359>

3 Semillero de Biotecnología Vegetal (UCO). Correo: emilychicagarcia2013@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2187-7901>

4 Semillero de Biotecnología Vegetal (UCO). Correo: bedoyaq66@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2580-3552>

5 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: sjcalvo@uco.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3400-5208>

* Los autores agradecen por su apoyo al Instituto Colombiano Agropecuario ICA, a Colinagro, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, a la Universidad Tecnológica de Pereira, al grupo GENMOL de la Universidad de Antioquia y al grupo GIAZ de la Universidad Católica de Oriente.

Resumen

En la actualidad, el botón de oro (*Tithonia diversifolia*) se propaga principalmente de manera asexual mediante estacas muy lignificadas y de gran tamaño, dificultando su transporte y siembra. Esto genera un déficit para establecer cultivos de esta especie. El presente trabajo tiene como objetivo establecer un protocolo para la propagación de forma vegetativa del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) a través de esquejes, los cuales facilitan el transporte y la adquisición en condiciones de campo. Se utilizaron plantas madre de 5 diferentes accesiones previamente establecidas en un minijardín clonal bajo condiciones controladas de invernadero, dentro de las instalaciones de la Universidad Católica de Oriente en Rionegro, para tomar los esquejes de semilla asexual empleados en este trabajo. Para lograr el objetivo, se realizaron pruebas de

siembra en dos sustratos diferentes, el primero compuesto por suelo, limo, compost, cascarilla de arroz (S:L:C:CA), y el segundo sustrato compuesto por turba canadiense y fibra de coco (TC:FC). Se evaluaron dos variables: la altura de los esquejes 15 días después de la siembra y el porcentaje de prendimiento, obteniendo resultados efectivos en la aplicación de este método para la propagación vegetativa de botón de oro. Al explorar el método de esquejes sembrados con sustratos compuestos por una mezcla de dos partes de horizonte A (suelo) + 0,5 de horizonte B (limo) + 1 parte de compost comercial, + 0,5 cascarilla de arroz (S:L:C:CA), se obtuvieron esquejes de mejor calidad y porcentajes de prendimientos por encima del 86 % que los que se obtuvieron con el sustrato de turba canadiense y fibra de coco (TC:FC).

Palabras clave

Sustratos alternativos, Clonación agrícola, Técnicas de reproducción vegetal.

Abstract

Currently, the buttercup (*Tithonia diversifolia*) is propagated mainly asexually by means of very lignified and large stakes, making it difficult to transport and plant them, which generates a deficit to establish crops of this species. The present work aims to establish a protocol for the propagation of the vegetative form of the buttercup (*Tithonia diversifolia*) through cuttings, which facilitate transport and acquisition in field conditions. Mother plants from 5 different accessions previously established in a clonal mini garden will be used under controlled greenhouse conditions, within the facilities of the Universidad Católica de Oriente in Rionegro, to take the asexual seed cuttings used in this work. To achieve the objective, planting tests were carried out on

two different substrates, the first consisting of soil, silt, compost, rice husk (S:L:C:CA) and the second substrate consisting of Canadian peat and coconut fiber (TC: FC). Two variables were evaluated: the height of the cuttings 15 days after sowing and the percentage of arrest, obtaining effective results in the application of this method for the vegetative propagation of the buttercup. By exploring the method of schemes seeded with composite substrates by a mixture of two parts of horizon A (soil) + 0.5 of horizon B (limousine) + 1 part of commercial compost, + 0.5 rice husk (S: L: C: CA), cuttings of better quality and yield percentages above 86 % than those obtained with the Canadian peat and coconut fiber substrate (TC: FC).

Keywords

Alternative substrates, Agricultural cloning, Plant reproduction techniques.

Introducción

El botón de oro (*Tithonia diversifolia*) es una planta herbácea o arbustiva robusta, perteneciente al reino plantae, Subreino Traqueobionta (plantas vasculares), División Magnoliophyta (plantas con flor), Clase Magnoliopsida (dicotiledóneas), Subclase Asteridae y Orden Asterales (Pérez et al., 2009). Esta planta, que comprende diez especies originarias de Centro América, posee gran capacidad de adaptabilidad a condiciones agroecológicas; crece desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm y posee tolerancia a la acidez y a la baja fertilidad del suelo (Sanabria & Avila, 2015; Gómez et al., 2002; Peters, Franco, Schmidt e Hincapié, 2011).

La *Tithonia diversifolia* actualmente está siendo utilizada para el establecimiento de huertos forrajeros para la alimentación animal. Estado debido a que posee altos contenidos de nitrógeno y de fósforo, proteína aproximada del 18 % al 20 %, y a su eficiencia para producir grandes cantidades de biomasa comestible, lo que le permite una rápida recuperación ante la poda; además, tiene la capacidad de tolerar condiciones de acidez y baja fertilidad del suelo (Ruíz, Febles, Díaz & Achang, 2009; Sanabria & Avila, 2015). En Colombia, esta planta se ha usado como complemento en la dieta de conejos, curies, cerdos y vacas (Ríos, 1998).

Ahora bien, la reproducción por estaca es la forma más efectiva y conocida para el establecimiento del botón oro, como lo demuestran Peters et al. (2011); González, Ruiz y Díaz (2013); Castillo, Betancourt, Toral y Iglesias (2016); Ruíz et al. (2009); Ruíz, Febles, Díaz y Achang (2012); Gómez et al. (2002). Estos autores evidencian el mismo protocolo para la reproducción asexual de esta planta: estacas de la parte media del tallo, de 50 cm de largo, de 2 a 3,5 cm de diámetro, y entre 3 y 4 cm de yemas. De la misma forma, Sanabria et al. (2015) y Gómez et al. (2002) afirman que, con tallos de la parte media, entre 20 y 40 cm de largo, con al menos 2 yemas, es más que suficiente para una propagación efectiva. Sin embargo, recientemente, Medina, García, González, Cova y Moratinos (2009) evaluaron el efecto de la longitud y el diámetro de las estacas para la siembra de botón de oro y concluyeron que, con estacas de 10 y 20 cm de longitud y de 1 a 3,9 cm de grosor, la tasa de crecimiento es más alta.

Romero, Galindo, Murgueitio y Calle (2014) experimentaron con la reproducción de semilla sexual y realizaron un protocolo para su propagación, en el cual se observaron diversos problemas con la sincronía de la germinación y la separación de plántulas para llevar a campo. Agboola, Idowu y Kadiri (2006) también realizaron pruebas de propagación

para el establecimiento de cultivos de *Tithonia diversifolia* mediante semilla sexual, en las que encontraron que el porcentaje de germinación con semillas frescas era tan solo del 30 %.

La propagación vegetativa o asexual por estaca o esquejes es un método de propagación eficiente y sencillo que permite multiplicar plantas a partir de diferentes partes de tallo con yemas, los cuales se separan de la planta madre y se plantan en sustratos específicos con condiciones óptimas para regenerar nuevas raíces adventicias (Sisaro et al. 2016; Hartmann et al, 1990). Desde el punto de vista agronómico, la dureza de los tejidos es clave para diferenciar una estaca de un esqueje, ya que la estaca está compuesta por madera (dura o suave dependiendo de la planta), mientras que en el esqueje es un tejido parcialmente lignificado (Fernández, Fernández & Álvarez, 2017).

La técnica de minijardines clonales es una derivación de la micropropagación, por lo que es un complemento de propagación vegetativa clonal, especialmente para especies forestales (Castro & Silveira, 2010). En la Universidad Católica de Oriente, en la Unidad de Biotecnología Vegetal, se ha utilizado y perfeccionado esta técnica, estableciendo en el invernadero un minijardín clonal en el que se emplearon diferentes accesiones de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) traídas de diferentes regiones del país y manejadas mediante esta técnica para evaluar su propagación clonal por esquejes.

En la actualidad se utilizan reguladores de crecimiento llamados auxinas para mejorar

el desarrollo de los esquejes, los cuales intervienen en actividades de la planta, como el crecimiento del tallo, la formación de raíces, la inhibición de yemas, entre otros, ya que influyen la división, crecimiento y diferenciación celular. El ácido indolbutírico (AIB) es, particularmente, muy eficaz por su excelente acción rizógena y a que no es tóxico para las plantas (Hartmann y Kester, 1990).

La poca oferta de material asexual (estacas) de *Tithonia diversifolia* para establecer huertos forrajeros ha sido el principal obstáculo para la expansión de los sistemas silvopastoriles de botón de oro (Romero et al., 2014), por lo que es necesario buscar otras técnicas de propagación más eficientes, como el método de propagación por esquejes. Hasta ahora, la técnica más eficaz es la propagación mediante estacas con tallos de la parte baja y más leñosa de la planta, lo cual garantiza un 94 % de prendimiento (Salazar, 1992), sin embargo, es una de las menos usadas. Esto debido a que conseguir material vegetal con esas características y en grandes cantidades no es fácil. Igualmente, la técnica de reproducción por estacas de la parte media brinda un 58 % de probabilidad de germinación (Salazar, 1992), lo cual resulta medianamente eficiente, pero también se presentan varias dificultades como la consecución del material, el traslado hasta el sitio de siembra y elevado costo para la producción de esta semilla (Gallego, 2016).

En la actualidad, no se han realizado ensayos con botón de oro en lo relacionado con la propagación por esquejes, a pesar de que el uso de auxinas se convierte en una herramienta importante para facilitar el desarrollo de raíces

en este tipo de material vegetal. Es por esta razón que, en esta investigación, se propuso desarrollar un protocolo para la multiplicación de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) por medio de esquejes.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se realizó en el invernadero de Biotecnología Vegetal, en las instalaciones de la Universidad Católica de Oriente (UCO), localizada en el municipio de Rionegro, Antioquia. Las coordenadas del lugar 6° 9' 15.2" N, 75° 22' 10.4" W, con una altitud de 2.112 m. El clima de la zona se caracteriza por una temperatura promedio de 17 °C, una humedad relativa del 78 % y precipitación promedio de 1.800 mm/año, correspondiente a la zona de vida de bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB), según la clasificación de Holdridge (Holdridge, 1967).

Material Vegetal

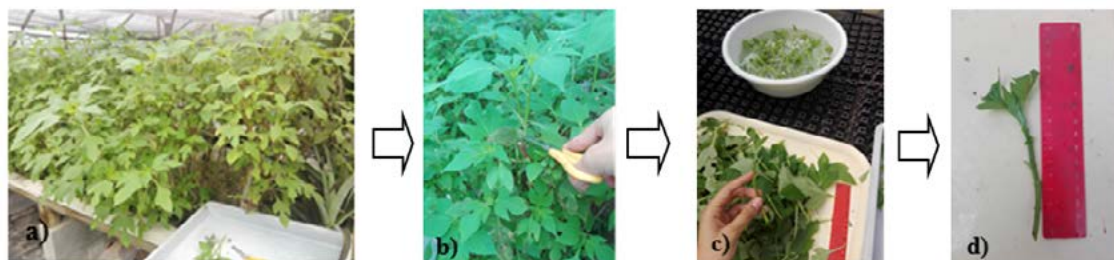
Se emplearon esquejes de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) procedentes de minijardín clonal bajo condiciones controladas de invernadero dentro de las instalaciones de la Universidad Católica de Oriente en Rionegro, Antioquia.

Selección de esquejes

El proceso de recolección de esquejes se llevó a cabo a partir de plantas madre establecidas en minijardines clonales de botón de oro (*Tithonia diversifolia*). Se seleccionaron esquejes con una longitud de entre 8 y 11 cm, los cuales contenían tres nudos y un par de hojas en el nudo superior. El corte del tallo se realizó en forma de bisel para facilitar la absorción de agua y promover el enraizamiento. Posteriormente, los esquejes se sumergieron en un recipiente con agua para prevenir la deshidratación, y se procedió a recortar la mitad de la superficie de cada hoja para reducir la transpiración y optimizar el proceso de propagación

Figura 1

Cosecha de esquejes de botón de oro (*Tithonia diversifolia*)



Nota. a) Plantas madre establecidas en minijardín clonal; b) Selección y corte de esquejes; c) Preparación e hidratación; d) Esqueje listo para la siembra.

Seguidamente, se aplicó en la base de los esquejes, ácido indol butírico (AIB), en concentración de 1.000 partes por millón, con el propósito de estimular formación y desarrollo de raíces, luego se procedió a la siembra en los diferentes sustratos que fueron dispuestos en bandejas germinadoras con 128 alvéolos cada una.

Figura 2

Proceso para la siembra de esquejes de botón de oro, en los diferentes tratamientos para enraizamiento

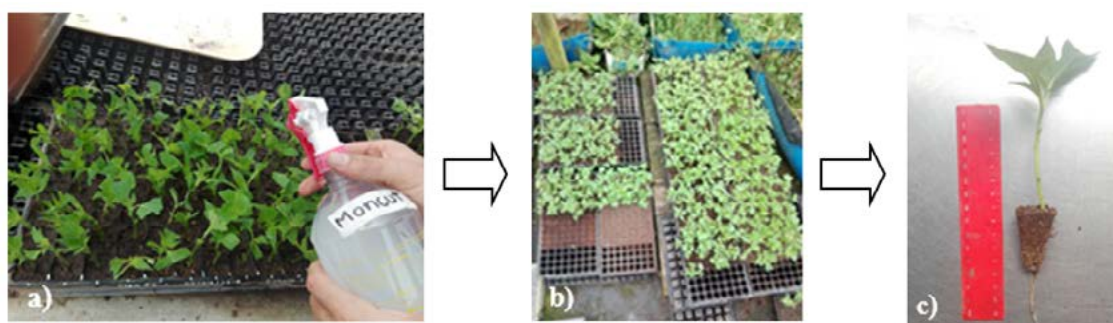


Nota. a) Adición de auxina (AIB); b) Siembra en alvéolo; c) Siembra de bandejas con sus tratamientos.

Luego de la siembra de los esquejes, se adicionó agua al sustrato para llevarlo a capacidad de campo. Seguidamente se aplicó un fungicida sistémico a base de Flutolanilo, 2g/L con acción protectante y curativa para prevenir la pudrición de la base del tallo del esqueje. Por último, se colocaron las bandejas con los tratamientos bajo condiciones de cámara húmeda, a temperaturas entre 17 y 34°C y humedad relativa del 70 %. Luego de catorce (14) días, posteriores a la siembra, se midieron en los tratamientos las variables de porcentaje de prendimiento y de altura.

Figura 3

Esquejes de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) luego de la siembra



Nota. a) Aplicación de fungicida; b) Prendimiento de esquejes en cámara húmeda, ocho días luego de la siembra; c) altura de las plantas a los 15 días.

Diseño experimental

Los tratamientos empleados, consistieron en dos mezclas de sustratos. El primero, se compuso de la siguiente manera: dos partes de horizonte A (suelo), 0,5 partes de horizonte B (limo), una (1) parte de compost comercial y 0,5 partes de cascarilla de arroz (S:L:C:CA). Se buscó con este sustrato simular una combinación del entorno común en donde crece naturalmente esta planta.

El segundo sustrato se compuso por turba canadiense y fibra de coco en proporción 70-30, respectivamente (TC:FC). Se sembraron un total de 1280 esquejes en 10 bandejas de 128 alvéolos c/u, 640 repeticiones para cada tratamiento. Quince (15) días después de la siembra de los esquejes, se midieron las variables de porcentaje de prendimiento y de altura, lo cual se realizó tomando el 30 % de las repeticiones de manera aleatoria en cada uno de los tratamientos.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza simple con un nivel de significancia para $P < 0.05$. Se realizó el test de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad; el test de Levene para evaluar la homogeneidad de varianza; y el test de Duncan para la comparación múltiple. Todas estas pruebas se ajustaron a la distribución normal. Para el procesamiento estadístico se utilizó el software estadístico de R-Project con los paquetes StatR, Agricolae y PlotsR.

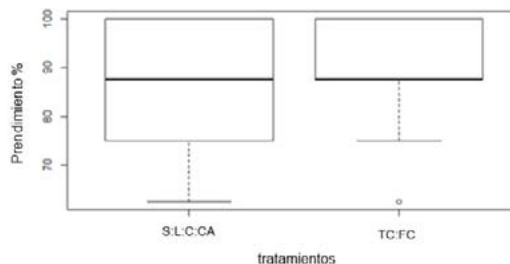
Resultados y discusión

Prendimiento de esquejes

En la gráfica 1 puede verse que no se encontró diferencia estadística significativa con respecto al prendimiento de los esquejes de Botón de oro. En el análisis de varianza para esta variable se evidencia un valor $P > 0.05$ (Tabla 1). En el sustrato de turba canadiense y fibra de coco, el prendimiento fue de 89,38 %, mayor que en el de suelo, limo, abono orgánico y cascarilla de arroz, donde el prendimiento de los esquejes de botón de oro fue de 86,04 %.

Gráfica 1

Porcentaje de prendimiento de esquejes de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) bajo dos tipos de sustrato



Nota. El primero está compuesto por suelo, limo, compost, cascarilla de arroz (S:L:C:CA); el otro, por turba canadiense y fibra de coco (TC:FC).

Tabla 1

Análisis de varianza (ANOVA), para la variable prendimiento de esquejes de botón de oro bajo dos tipos de sustrato

Analysis of Variance Table

```

Response: ALTI
      DF Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
BLOQ   4  1023.4   255.86  2.2966 0.06335 .
TRB    1   333.3   333.33  2.9920 0.08638 .
Residuals 114 12700.5   111.41
---
    
```

Nota. Elaborado con R-Project.

El prendimiento en el sustrato compuesto por turba canadiense y fibra de coco fue superior en 3.34 %, con relación al del sustrato compuesto por suelo, limo, compost y cascarilla de arroz. Ambos promedios, por encima del 85 %, muestran resultados superiores a los alcanzados por Lugo et al. (2012). Los autores reportaron sobrevivencia de estacas entre el 65 % y 82,5 %. Salazar (1992), por su parte, encontró un 94 % de prendimiento en estacas tomadas de la parte más leñosa de los tallos y 58 % en estacas de la parte media de los tallos quince (15) días después de la siembra. Otra información científica suministrada por Hartmann (1990) indica que en esquejes las raíces adventicias se originan afuera y entre los haces vasculares. Por otro lado, en las estacas, las raíces adventicias se originan generalmente en el tejido de xilema, pero ocasionalmente pueden formarse a partir de otros tejidos como los radios vasculares, el *cambium*, el floema y la médula.

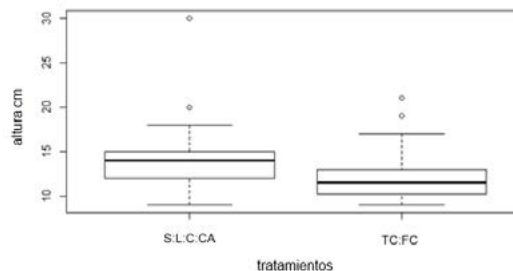
Es importante mencionar que los esquejes obtenidos en esta investigación presentaron un excelente desarrollo de raíces, uniformidad, tamaño ideal apropiado y calidad fisiológica relacionada con color, consistencia de tejidos, número de hojas entre otras, lo cual garantiza una buena respuesta en campo.

Longitud de los esquejes

En la gráfica 2 puede verse que se encontró diferencia estadística significativa relacionada con la altura de las plántulas. Los esquejes sembrados en el sustrato compuesto por suelo, limo, compost comercial y cascarilla de arroz presentaron una altura de 14.06 centímetros en promedio. En contraste, en el sustrato compuesto por turba canadiense y fibra de coco, los esquejes alcanzaron 12.18 centímetros, una diferencia de 1.9 cm. En la tabla 2, se presenta el análisis de varianza, en el cual se puede observar un valor $P < 0.05$, lo que indica que sí se tubo diferencia estadística significativa.

Gráfica 2

Altura en centímetros, de esquejes de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) bajo el efecto de dos tratamientos (sustratos) en condiciones controladas de invernadero



Nota. Elaborado con R-Project.

Tabla 2

Análisis de varianza (ANOVA) y test de Duncan, para la variable altura de esquejes de botón de oro, bajo el efecto de dos tipos de sustrato

```
anova
Analysis of Variance Table

Response: ALTI
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
BLOQ 4 203.10 50.774 7.9251 1.131e-05 ***
TRB 1 106.41 106.408 16.6089 8.526e-05 ***
Residuals 114 730.36 6.407

Test de Duncan
Means with the same letter are not significantly different.

Groups, Treatments and means
a 1 14.06
b 2 12.18
```

Nota. Promedios con letras diferentes indican diferencia significativa para $P < 0,05$. Elaborado con R-Project.

El crecimiento en altura de las plantas es dependiente del aporte de agua, nutrientes, energía y aire que un medio pueda aportar (Singh y Sainju, 1998). Esto concuerda con las condiciones físicas y con los nutrientes que proporciona el sustrato compuesto por suelo, limo, compost y cascarilla de arroz, en el cual los esquejes ganaron mayor altura. En contraste, se evidencia el sustrato compuesto por turba canadiense y fibra de coco no aporta una nutrición significativa para los esquejes, lo que incidió en un menor crecimiento y desarrollo de estos.

En los estudios realizados por Medina et al. (2009) se sembraron estacas lignificadas de botón de oro, entre 10 y 20 cm de largo,

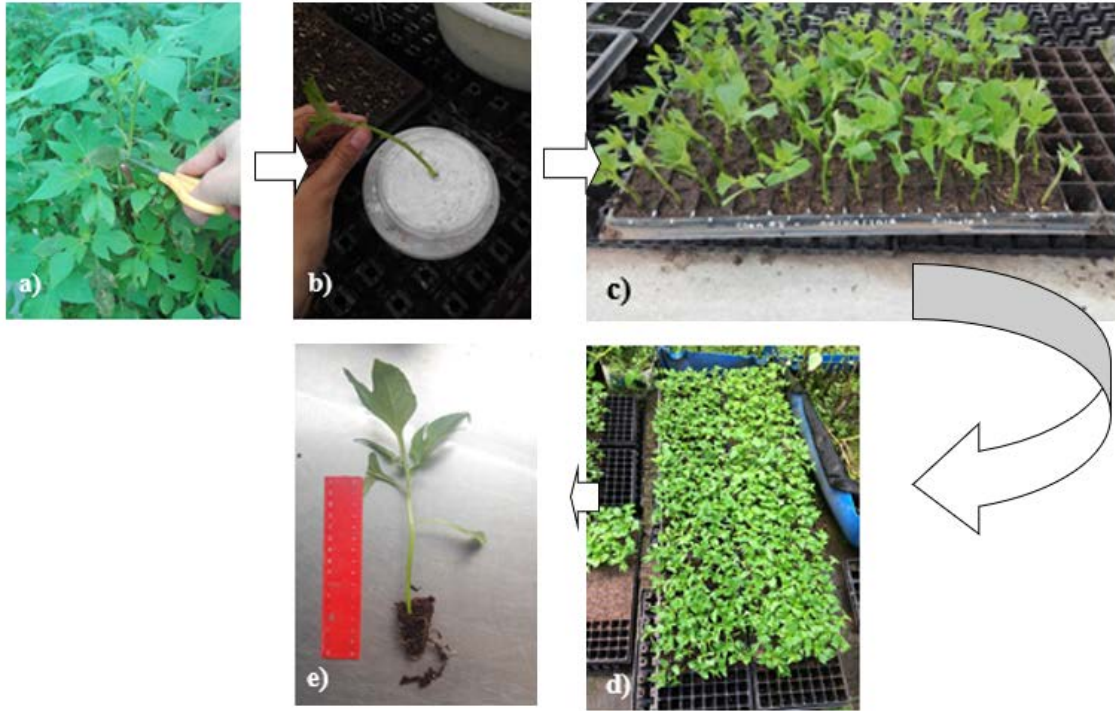
sin embargo, no se encontraron diferencias significativas al comparar su prendimiento. Los investigadores concluyeron que los mejores resultados se dieron cuando aumentó el tamaño de la estaca, pues esto influye en la tasa de crecimiento de los rebrotes; los esquejes más pequeños quedan en desventaja con los de mayor longitud, esto debido a su capacidad para aprovechar mejor el sustrato como en otras especies de interés (Pidi, 1981).

En estudios realizados por Guzmán, Jarquín y Borge (2019), evidenciaron diferencias significativas en la respuesta de estacas de botón de oro, bajo el efecto de tres abonos orgánicos (lombrihumus, compost, bokashi) en el crecimiento y desarrollo de estas. Los resultados mostraron que los esquejes bajo el efecto de lombrihumus presentan una sobrevivencia de 92.37 % en comparación con los esquejes sembrados en otros abonos.

El lombrihumus, como abono orgánico, se asemeja al primer tratamiento empleado en esta investigación; por ello, se le atribuye un mayor índice de crecimiento, debido a que este sustrato otorgó un mayor aporte nutricional y condiciones favorables de humedad y de oxígeno a los esquejes.

Figura 4

Esquema para la propagación asexual por esquejes de botón de oro (*Tithonia diversifolia*), a partir de plantas madre



Nota. a) Cosecha de esquejes; b) Aplicación de auxina; c) Siembra; d) Crecimiento y desarrollo; e) Esqueje listo para siembra en campo.

Conclusiones

La propagación vegetativa mediante esquejes de botón de oro (*Tithonia diversifolia*), con la ayuda de auxinas, bajo condiciones controladas de invernadero es totalmente viable, presentando porcentajes de prendimiento por encima del 86 %, es por ello que se convierte en una de las mejores alternativas de obtención de semilla asexual, para el establecimiento de huertos forrajeros con esta especie, para la alimentación animal.

Referencias

- Agboola, D. A., Idowu, W. F. y Kadiri, M. (2006). Seed germination and seedling growth of Mexican sunflower *Tithonia diversifolia* (Compositae) in Nigeria, África. *Revista de biología tropical*, 54(2), 395-402. <https://doi.org/10.15517/rbt.v54i2.13881>
- Castillo, M. R., Betancourt, B. T., Toral, P. O. C. y Iglesias, G. J. M. (2016). Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y la producción de *Tithonia diversifolia*. *Pastos y Forrajes*, 39(2), 89-93.
- Castro R, D. y Silveira, RLVA. (2010). *Guía para el montaje y manejo de minijardines clonales hidropónicos (MJCH)*. Rionegro: Universidad Católica de Oriente.
- Fernández, H. R. O., Fernández, A. M. O. y Álvarez, A. F. (2017). Manual de propagación de plantas superiores. Universidad Nacional Autónoma de México Universidad Autónoma Metropolitana
- Gallego Castro, L. A. (2016). Evaluación agronómica y análisis productivo del botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl. A Gray) como suplemento alimenticio de vacas lecheras en trópico alto. Universidad de Antioquía
- Gómez, M. H., Rodríguez, L., Murgueitio, E., Ríos, C. I., Rosales, M. M., Molina, C. H., Molina, C. H., Molina, E. y Molina, J. P. (2002). *Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica: Matarratón (Gliricidia sepium), Nacadero (Trichantheragigantea), Pízano (Erythrinagusca) y Botón de oro (Tithonia diversifolia)*. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV. <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15454>
- González, D., Ruiz, T. E. y Díaz, H. (2013). Sección del tallo y forma de plantación: su efecto en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(4).
- Guzmán, Á. E. L., Jarquín, L. J. D. y Borge, W. A. C. (2019). Efecto de tres fertilizantes orgánicos en el crecimiento de botón de oro en condiciones de vivero, Nueva Guinea, RACCS, 2017. *Ciencia e Interculturalidad*, 24(01), 203-214. <https://doi.org/10.5377/rci.v24i01.8016>

- Hartmann, H. T. y Kester, D. E. (1990). *Plant Propagation: Principles and Practices* (Fifth ed.). New Jersey: Prentice Hall Career and Technology.
- Lugo, S., F. Molina, I. González, J. González, y E. Sánchez. (2012). Efecto de la altura y frecuencia de corte sobre la producción de materia seca y proteína cruda de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Zootecnia Tropical*, 30, 317-325.
- Medina, M. G., García, D. E., González, M. E., Cova, L. J. y Moratinos, P. (2009). Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 121-134.
- Pérez, A, Montejo, I, Iglesias, J.M, López, O, Martín, G.J, García, D.E, Milián, Idolkis y Hernández, A. (2009). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes*, 32(1), 1.
- Peters, M., Franco, T., Schmidt, A. y Hincapié, B. (2011). *Especies forrajeras multi-propósito: Opciones para productores del Trópico Americano*. CIAT.
- Pidi, N. (1981). *La multiplicación de las Plantas*. Editorial de Vecchi. Barcelona, España.
- Ríos, C. I. (1998). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. En *Conferencia electrónica de la FAO sobre " Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica " Cali* (pp. 217-229).
- Romero M. O., Galindo O. A., Murgueitio R. E., y Calle D. Z. (2014). Primeras experiencias en la propagación del botón de oro (*Tithonia diversifolia*, Hemsl. Gray) a partir de semillas para la siembra de sistemas silvopastoriles intensivos en Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.1569>
- Ruiz, T. E., Febles, G., Díaz, H. y Achang, G. (2009). Efecto de la sección y el método de plantación del tallo en el establecimiento de *Tithonia diversifolia*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(1).
- Ruiz, T. E., Torres, V., Febles, G., Díaz, H. y González, J. (2012). Empleo de la modelación para estudiar el crecimiento del material vegetal 23 de *Tithonia diversifolia*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(1).
-

- R Core Team (20). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Salazar, A. (1992). Evaluación agronómica del "botón de oro" (*Tithonia diversifolia* – familia compuesta) y el "pinocho" o "resucitado" (*Malvaviscus penduliflorus* - familia malvaceae). *Informe de becarios de la Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria*. Cali, Colombia.
- Sanabria C. E., y Avila C. I. Y. (2015). Producción de follaje de la especie botón de oro, *Tithonia diversifolia*, utilizando cinco técnicas de siembra con fines de alimentación animal. UNAD. Obtenido de: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3713>
- Singh, B. P. y Sainju, U. M. (1998). Propiedades físicas y morfológicas del suelo y crecimiento radicular. *HortScience*, 33 (6), 966-971.
- Sisaro, D. y Hagiwara, J. (2016). *Propagación vegetativa por medio de estacas de tallo*. Buenos Aires, AR, Ediciones INTA.



Universidad Católica de Oriente
Sector 3. Cra. 46#40 B50.
PBX: +(57) (604) 569 9090. PBX 2: +(57) 300 910 8955
Correo electrónico: fondo.editorial@uco.edu.co
Rionegro - Antioquia - Colombia