



Agricolae Habitat

Revista de Investigación Formativa
Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA.

Volumen 7 – Número 2 - 2024

e-ISSN: 2665 - 3176

Revista Agricolae & Habitat

Volumen 7 – Número 2 - 2024 – e-ISSN: 2665 – 3176

CUERPO DIRECTIVO

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR

Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA

Vicerrector Académica y de Investigación

EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ

Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

LEONARDO YUNDA PERLAZA

Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

JULIA ALBA ANGEL OSORIO

Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Comunitaria

LEONARDO EVEMELETH ANCHEZ TORRES

Vicerrector de Relaciones Internacionales

JORDANO SALAMANCA BASTIDAS

Decano Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

JUAN SEBASTIÁN CHIRIVÍ SALOMÓN

Líder Nacional de Investigación

CAROLINA GUTIÉRREZ

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

EDITORES

GERARDO OJEDA

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

MARGARITA BONILLA

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

EDITORES DE SECCION

Cadena Agrícola

SANDRA PATRICIA MONTENEGRO

CRISTINA MENDOZA FORERO

JORGE ARMANDO FONSECA

Cadena Agroforestal

GRACIELA GARZÓN MARÍN

SHIRLEY ANDREA RODRÍGUEZ ESPINOSA

Cadena Ambiental

DENISSE VIVIANA CORTES CASTILLO

SONIA ESPERANZA RUIZ BALAGUERA

Cadena Pecuaria

JULIÁN CASTILLO VARGAS

EDWIN PÁEZ BARÓN

VIVIANA VILLAMIL REYES

HELENA ESPITIA MANRIQUE

Revista Agricolae & Habitat

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Calle 14 Sur N. 14-23 Bogotá, Colombia

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

Los artículos pueden consultarse en su versión electrónica en:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/agricolae/issue/archive>

Corrector de estilo

Lina Salazar

Diseño y diagramación

Ana María Salamanca Valderrama

DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

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

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

La política de privada de la UNAD, detalla la forma como salvaguardamos y utilizamos

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

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

Para más información, por favor consulte aquí:

ÍNDICE

Presentación	6
Sección Pecuaria	
1. EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO ALCALINO CON CAL VIVA (CaO) PARA LA REDUCCIÓN DE MICROORGANISMOS EN LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) VÍA PUERTO MOSQUITO, AGUACHICA, CESAR	
EVALUATION OF ALKALINE TREATMENT WITH QUICKLIME (CaO) FOR THE REDUCTION OF MICROORGANISMS IN WASTE SLUDGE GENERATED IN THE PTAR VIA PUERTO MOSQUITO, AGUACHICA, CESAR	
Nayibe Tatiana Sánchez-Álvarez, Roymar Alejandro Vargas-Blanco, Pablo Alberto Herrera, Ingris Yohana Hernández-Martínez, Rossember Saldaña Escorcia	7
Sección Pecuaria	
2. EXPLORACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DOMA TRADICIONAL EN CABALLOS CUARTO DE MILLA EN LA CAPITAL DEL ARIARI	
EXPLORATION OF TRADITIONAL DRESSAGE TECHNIQUES ON QUARTER MILE HORSES IN THE CAPITAL OF ARIARI	
Hernando Arturo Villamizar, Litsy Luciene Gutiérrez	21
Sección Agrícola	
3. EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE UN CULTIVO DE ARVEJA BAJO DOS SISTEMAS DE SIEMBRA EN AQUITANIA-BOYACÁ	
EVALUATION OF PRODUCTIVITY OF A PEA CROP UNDER TWO SYSTEMS IN AQUITANIA, BOYACÁ	
Marionel Alarcón Urrutia, Edelmira Alarcón Álvarez, Yenny Maritza Camacho Torres	39
Sección Agrícola	
4. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL <i>Azotobacter chroococcum</i> EN CULTIVO DE MAÍZ HIDROPÓNICO	
ANALYSIS OF THE ACTIVITY OF <i>Azotobacter chroococcum</i> IN HYDROPONIC CORN CULTIVATION	
Ingris Yohana Hernández Martínez, Germán Orozco González, Margarita del Rosario Salazar Sánchez, Yaneth De Jesús Galindo, Nayibe Tatiana Sánchez-Álvarez	55



PRESENTACIÓN

Estimados lectores

Presentamos aquí diversos artículos, fruto de la colaboración entre docentes, estudiantes y exalumnos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Se trata de artículos relacionados con las diferentes cadenas de la Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA: Agrícola, Agroforestal, Ambiental y Pecuaria.

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

Saludos cordiales

Gerardo Ojeda

Margarita Bonilla



Fecha de recibido: 08/04/2024

Fecha de aceptado: 20/06/2024

DOI: 10.22490/26653176.8032



EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO ALCALINO CON CAL VIVA (CaO) PARA LA REDUCCIÓN DE MICROORGANISMOS EN LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) VÍA PUERTO MOSQUITO, AGUACHICA, CESAR

EVALUATION OF ALKALINE TREATMENT WITH QUICKLIME (CaO) FOR THE REDUCTION OF MICROORGANISMS IN WASTE SLUDGE GENERATED IN THE PTAR VIA PUERTO MOSQUITO, AGUACHICA, CESAR

Nayibe Tatiana Sánchez-Álvarez

Docente, Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica. Departamento de Ciencias Ambientales y Sanitarias, Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Semillero SAPMA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8517-8331> - ntsanchez@unicesar.edu.co

Roymar Alejandro Vargas-Blanco

Ingeniero Ambiental y Sanitario, Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2670-7083> - ralejandrovargas@unicesar.edu.co

Pablo Alberto Herrera

Docente, Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica Departamento de Ciencias Ambientales y Sanitarias, Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Grupo de Investigación en Estudios Sanitarios y Ambientales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4159-6133> - pabloherrera@unicesar.edu.co

Ingris Yohana Hernández-Martínez

Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UDR, Aguachica. Semillero de Investigación SINPROP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5059-2356> - ingrismartinez@unad.edu.co

Rossember Saldaña Escorcia

Docente, Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica Departamento de Ciencias Ambientales y Sanitarias, Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Grupo de Investigación en Estudios Sanitarios y Ambientales.

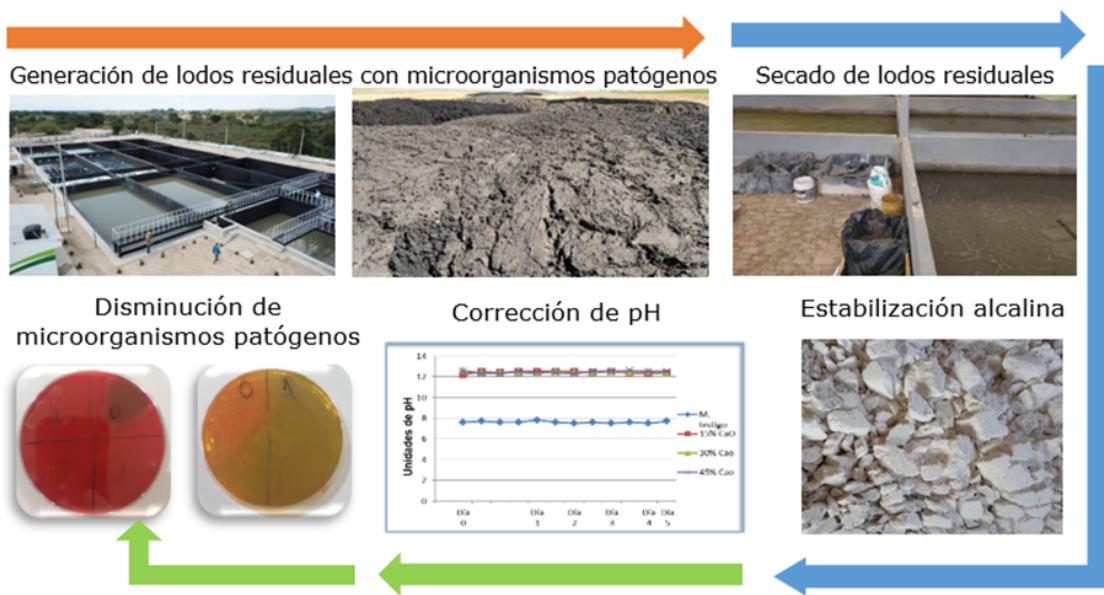
Semillero de investigación en Ambiental, Economía y Desarrollo social

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5290-7072>
rsaldanae@unicesa.edu.co

Citación: Sánchez-Álvarez, N., Vargas-Blanco, R., Herrera, P., Hernández-Martínez, I. y Saldaña, R. (2024). Evaluación del tratamiento alcalino con cal viva (CaO) para la reducción de microorganismos en lodos residuales generados en la PTAR Vía Puerto Mosquito, Aguachica, Cesar. *Agricolae & Habitat*, 7(2), 7–20.

<https://doi.org/10.22490/26653176.8032>

RESUMEN GRÁFICO



RESUMEN

Contextualización: la aplicación de cal viva como tratamiento alcalino ha sido considerada una técnica efectiva para la desinfección de lodos residuales.

Vacío de investigación: Aunque la técnica de tratamiento alcalino es conocida, existe una carencia de datos empíricos que demuestren su eficacia y optimización en escenarios específicos como el estudiado, lo cual es crucial para validar y mejorar prácticas de desinfección de lodos en otras PTARs con características semejantes.

Propósito: en este estudio, se llevó a cabo una evaluación del tratamiento alcalino con cal viva (CaO) para reducción de microorganismos en los lodos residuales proce-

dentes de la PTAR vía Puerto Mosquito en Aguachica, Cesar.

Metodología: el proceso implica la adición de cal viva al lodo residual, lo que eleva el pH del medio y crea un ambiente hostil para la supervivencia de microorganismos patógenos y bacterias.

Resultados y conclusiones: los resultados de la evaluación proporcionaron información sobre la eficiencia del tratamiento alcalino con cal viva en la reducción de microorganismos patógenos y la mejora de la calidad general de los lodos residuales con la concentración de 45%.

Palabras Clave: agua residual, microorganismo, saneamiento, tratamiento del agua.

ABSTRACT

Contextualization: The application of quicklime as an alkaline treatment has been considered an effective technique for the disinfection of residual sludge.

Knowledge gap: Although the alkaline treatment technique is well-known, there is a lack of empirical data demonstrating its effectiveness and optimization in specific scenarios like the one studied, which is crucial for validating and improving sludge disinfection practices in other wastewater treatment plants with similar characteristics

Objective: In this study, an evaluation of alkaline treatment with quicklime (CaO) was carried out to reduce microorganisms in waste sludge from the PTAR via Puerto Mosquito in Aguachica, Cesar.

Methodology: The process involves the addition of quicklime to the residual sludge, which raises the pH of the medium and creates a hostile environment for the survival of pathogenic microorganisms and bacteria.

Results and conclusions: The evaluation results provided information on the efficiency of alkaline quicklime treatment in reducing pathogenic microorganisms and improving the overall quality of waste sludge with the 45% concentration.

Keywords: waster water, microorganisms, sanitation, water treatment

1. INTRODUCCIÓN

El exceso de lodos en la depuración que lleva el tratamiento de aguas residuales genera afectaciones a la salud y al medio ambiente, por los distintos componentes que posee el subproducto (Behnami et al., 2024; Malaviya y Singh, 2016), estos tienen alto contenido en materia orgánica, metales pesados y microorganismos patógenos. Una de las principales causas de contaminación en las plantas de tratamiento de aguas residuales es la acumulación de lodos generados después del tratamiento que se les dan

a estas aguas (Castillo et al., 2020; Saldaña y Castillo, 2021).

A nivel mundial del 7% al 9% de gases de efecto invernadero como el CH_4 son generados por las aguas residuales, que son la quinta fuente más grande de emisiones de CH_4 (Ayala, 2020; Khabiri et al., 2022), en los que resultan lodos residuales como subproducto del tratamiento biológico de las aguas domésticas, que pueden llegar a causar impacto al ambiente y a la salud de la población; por tal motivo son considerados

como residuos peligrosos (Martínez-Prado et al., 2011).

Debido a la problemática ambiental que generan los lodos residuales en Colombia y el mundo por ser determinados residuos peligrosos, es importante fomentar alternativas a favor de la descontaminación y disposición final de los lodos que son generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que el mal manejo de estos aumenta la cantidad de residuos a disponer en los rellenos sanitarios, contamina el medio que lo rodea y se desperdicia el potencial de aprovechamiento para una posible reutilización del biosólido. Acorde con Trejos y Agudelo (2012) “por tal razón se justifica buscar alternativas adecuadas que permitan la reutilización de dichos residuos, teniendo en cuenta que una buena gestión de los lodos es primordial para el funcionamiento de cualquier instalación de depuración de aguas” (p. 15).

Ahora bien, una planta de tratamiento de aguas residuales se diseña con el fin de prevenir o minimizar impactos negativos a el ambiente y la salud pública, por ello, los lodos residuales como subproducto de la depuración del agua debe ser entendido de la misma manera (Castillo et al., 2020). La empresa de servicios públicos de Aguachica (ESPA) es la encargada de darle óptimo tratamiento a las aguas residuales domésticas generadas, donde se producen los lodos residuales con gran variedad de microorganismos patógenos. En esta práctica empresarial se propuso un tratamiento alcalino con Cal Viva (CaO), como método alternativo medioambiental de reducción de comunidades bacterianas en los lodos

residuales procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales vía Puerto Mosquito en Aguachica, Cesar.

El municipio de Aguachica posee una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y un sistema de tratamiento de estas (lagunas de oxidación); a su vez, cuenta con la capacidad de tratar las aguas domésticas de la población viviente en el casco urbano, en donde el 68% de las aguas provenientes del municipio se vierte en la planta y el 32% restante en las lagunas de oxidación.

La PTAR vía Puerto Mosquito ubicada en Aguachica, Cesar, no cuenta con un tratamiento adecuado de lodos residuales, lo cual genera contaminación al suelo debido a su contenido de elementos tóxicos, constituido por la presencia de microorganismos patógenos (virus, helmintos, protozoos y bacterias); también pueden llegar a presentar algunos metales pesados como cromo, mercurio, cobre, cadmio, níquel, plomo, zinc; así mismo, afectación al aire por la emisión de un gas de efecto invernadero como el metano, que los lodos generan al ser expuestos a la deshidratación a temperatura ambiente. Esto reduce el ciclo de vida útil de la misma, donde el único proceso que se lleva a cabo es la deshidratación a temperatura ambiente y posteriormente son vertidos a las lagunas de oxidación o enviándolos al relleno sanitario del municipio, sin tener en cuenta las consecuencias ambientales que esto conlleva. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el tratamiento alcalino con cal viva (CaO) para reducción de microorganismos en los lodos residuales procedentes de la PTAR vía Puerto Mosquito en Aguachica, Cesar.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La etapa experimental se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales vía Puerto Mosquito, en la cual se efectúan procesos preliminares, primarios y secundarios para remover contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas del municipio de Aguachica; como subproducto de los tratamientos previamente mencionados se generan los lodos residuales, que son dispuestos a lechos de secado que actualmente no cuentan con la capacidad de abastecer la cantidad de lodos que genera la planta, por tal razón son vertidos a las lagunas de oxidación o en suelos que colindan con dicha PTAR.

Estos lodos presentan un alto contenido de microorganismos patógenos. En la disminución o eliminación de dichos microorganismos en el lodo residual la Cal es uno de

los productos alcalinos más utilizados en el saneamiento, su uso principal en la sanidad es la elevación del pH para la remoción de cargas contaminantes. Se puede utilizar cal viva (CaO) o hidratada (Ca(OH)_2).

Sobre la base del estudio “Eliminación de patógenos en biosólidos por estabilización alcalina” (Torres et al., 2009), se evidenció que existe una variedad de experiencias en lo que refiere a los tiempos de contacto necesarios para la reducción completa de patógenos a partir del tratamiento alcalino (varía entre 3 a 30 días). La preparación de la muestra de biosólido en la PTAR vía Puerto Mosquito se llevó a cabo durante 6 días, contando el día uno como el día de aplicación del alcalinizante. Para las dosificaciones de cal viva se llevaron a cabo tres proporciones p/p (Tabla 1).

■ TABLA 1.

Proporciones de lodo residual y material alcalinizante a evaluar

Material alcalinizante	Proporción alcalinizante %	P/P*
Testigo	0	10kg
Cal viva	15	$10\text{kg} \times 15\% = 1\text{kg de Cal}$
	30	$10\text{kg} \times 30\% = 3\text{kg de Cal}$
	45	$10\text{kg} \times 45\% = 4,5\text{kg de Cal}$

*El lodo muestra compuesto fue de 10kg al ser las proporciones son peso a peso, la cantidad de cal utilizada corresponde a la multiplicación de lodo muestra por el porcentaje de CaO

Fuente: autores.

Tomando como masa a componer 10kg, estas proporciones se realizaron con el fin de mantener el pH por encima de 12 unidades

durante un periodo no menor a 72 horas, con el propósito de disminuir microorganismos presentes en el lodo.

La PTAR vía Puerto Mosquito dispone de seis lechos de secado para la deshidratación del lodo residual, actualmente disponibles cinco de ellos, donde se recolectaron las muestras sencillas individuales con el fin de realizar una muestra compuesta. Las preparaciones de las muestras compuestas se realizaron en el lecho de secados número 6 (no disponible), en este se ubican cubículos con medidas de 50cm x 60cm y se disponen las muestras compuestas de lodos residuales en una base acuosa extraídas de los lechos disponibles. Este proceso se realizó manualmente con la protección adecuada siguiendo la NTC-ISO 5667 de 1998.

Para determinar la cantidad de lodo a extraer de los lechos de secado disponibles se planteó la fórmula de la Ecuación 1.

Ecuación 1: Composición de muestras con base en muestras colectadas de zonas de apilamiento, almacenamiento o lechos de secado.

$$mh = \frac{Mc}{nm}$$

Donde:

mh: masa de la muestra tomada en el tiempo i necesaria para componer (kg)

Mc: masa a componer (kg)

nm: número de muestras

Para la toma de muestras se deberá implementar el protocolo de manipulación de biosólidos para minimizar los riegos biológicos y químicos identificados por el trabajo con biosólidos, este proceso aplica para el tratamiento y el llevado de muestras al laboratorio.

El protocolo de muestreo de biosólido se realiza cumpliendo el Decreto 1287 (2014) y a la NTC-ISO 5667-13 (Icontec, 1998), los cuales regulan el uso de biosólidos generados en PTAR-D y, a su vez, son la guía para el muestreo de aguas y lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

El análisis de la fase experimental debe verificar parámetros antes, durante y después del tratamiento con el fin de reducir o eliminar microorganismos. Según EPA (Environmental Protection Agency) (Velasco et al., 2019), los principales parámetros para la identificación de la efectividad del tratamiento fueron el pH y los coliformes fecales, observando si el primero se mantenía por encima de 12 unidades por un periodo mayor o igual a 72 horas (Tabla 2).

TABLA 2.

Variables para analizar en el lodo, tipo de medición y frecuencia

Variable	Unidad	Técnica de medición	Frecuencia de medición
Temperatura	°C	Termómetro de bulbo	* Día 1: 4 mediciones en el día cada 2 horas durante las primeras 8 hora Día 2 al 4: 2 mediciones diarias Día 5 y 6: 1 medición diaria
pH	Unidades	pHmetro	* Día 1: 4 mediciones en el día cada 2 horas durante las primeras 8 horas Día 2 al 4: 2 mediciones diarias Día 5 y 6: 1 medición diaria

Humedad	%	Gravimétrico	**
Microorganismos	UFC/g	Agar Plate Count – Agar Sangre – Agar MacConkey – Agar Hektoen.	**

*La variable se tomará antes, durante y después del tratamiento

** Las variables se tomarán antes y después del tratamiento

Fuente: autores.

Para el análisis microbiológico, los medios utilizados en la práctica fueron Agar Plate Count, Agar Sangre, Agar Mac Conkey y Agar Hektoen. Para el método de recuento en placa, se empleó la siembra en superficie con rastrillo, dicho método se realiza para el análisis de muestras de agua, suelo y alimento, permite obtener colonias y estimar la densidad poblacional de microorganismos de metabolismo aerobio o facultativo, por esta razón la siembra en superficie se relaciona directamente con la técnica de recuento directo en placa (recuento por dilución). Para esta siembra se maneja el asa o

rastrillo de Digralsky con el cual se extiende o esparce la alícuota de la muestra sobre la superficie de la petri, la placa se incuba en un ambiente predeterminando, hasta que aparecen colonias y se cuenta su número. Finalmente, el tratamiento estadístico de los datos se ejecutó con un análisis descriptivo a fin de observar las relaciones que se dan entre los datos mediante Microsoft Excel; así mismo, se analizó el efecto del tratamiento sobre el lodo mediante gráficos simples para determinar diferencias significativas entre los tratamientos realizados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los lodos residuales de la PTAR vía Puerto Mosquito no presentan restricción desde el punto de vista fisicoquímico y de contenido de metales pesados como el Cobre, Cromo, Plomo, Zinc, según el análisis del lodo residual presentado por Jácome y Mora en el 2017 (Calixto et al., 2022); sin embargo, por la calidad microbiológica se clasifican como clase B según el Decreto 1287 (2014).

Análisis descriptivo

Los datos de la Tabla 3 muestran los resultados del pH en tres condiciones diferen-

tes (15%, 30% y 45% de concentración) con sus respectivos valores mínimo, máximo y desviación estándar. Así, algunas observaciones sobre los resultados son: en general, los valores de pH en todas las condiciones están en el rango alcalino, oscilando entre 12,1 y 12,6. Además, los valores mínimos y máximos de pH son bastante similares en las tres condiciones, lo que sugiere una consistencia en los resultados. A pesar de ello, se observa que la desviación estándar es menor en las condiciones de mayor concentración (30% y 45%), lo que indica una mayor precisión y menor variabilidad en los resultados en comparación con la con-

dición de menor concentración (15%). Esto sugiere que, aunque los valores de pH se mantienen relativamente estables a medida

que aumenta la concentración, la precisión de las mediciones mejora con una mayor concentración de la muestra.

■ TABLA 3.

Análisis descriptivo pH según la concentración de CaO

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
pH_15%	12,1	12,6	0,162
pH_30%	12,3	12,6	0,096
pH_45%	12,3	12,5	0,086

Fuente: autores.

Por otro lado, los datos presentados en la Tabla 4 muestran los resultados de la humedad en tres condiciones diferentes de concentración, junto con los valores mínimos, máximos y desviación estándar asociados. Al analizar estos datos, se observa que la humedad varía en función de la concentración, con diferentes rangos y niveles de variabilidad en cada condición. Por ejemplo, en la condición de 15% de concentración, los valores de humedad oscilan entre 60 y 70, con una desviación estándar de 1,41, lo

que indica cierta variabilidad alrededor de la media. En contraste, en la condición de 30% de concentración, la humedad se mantiene constante en 60, con una desviación estándar de 0, lo que sugiere una consistencia en los valores medidos. Por último, en la condición de 45% de concentración, la humedad varía de 47 a 50, con una desviación estándar de 2,12, lo que señala una mayor variabilidad en los valores de humedad en esta condición en comparación con las otras dos.

■ TABLA 4.

Análisis descriptivo pH según la concentración de CaO

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
H_15%	60	70	1,41
H_30%	60	60	0
H_45%	47	50	2,12

Fuente: autores.

Estabilización alcalina

Los lodos residuales húmedos mostraron facilidad de homogenización al adicionar Cal viva (CaO) debido su alto contenido de humedad, no obstante, el día 2 del tratamiento se presentó la formación de grumos, factor no deseable en la reducción de

patógenos, fenómeno que también observaron Torres et al. (2009) (Figura 1).

Temperatura

La adición de cal aumentó la temperatura durante el día de aplicación del alcalinizan-

te (46°C y 50°C), siendo la proporción de 45% la responsable de los mayores valores; no obstante, las temperaturas elevadas no permanecieron durante el tiempo mínimo recomendado por la EPA (Velasco et al.,

2019), la experiencia de estabilización alcalina de Torres en el 2007 (Torres et al., 2009) y esta, demuestran que aún sin cumplir este requisito se cumple el objetivo de eliminar microorganismos patógenos.

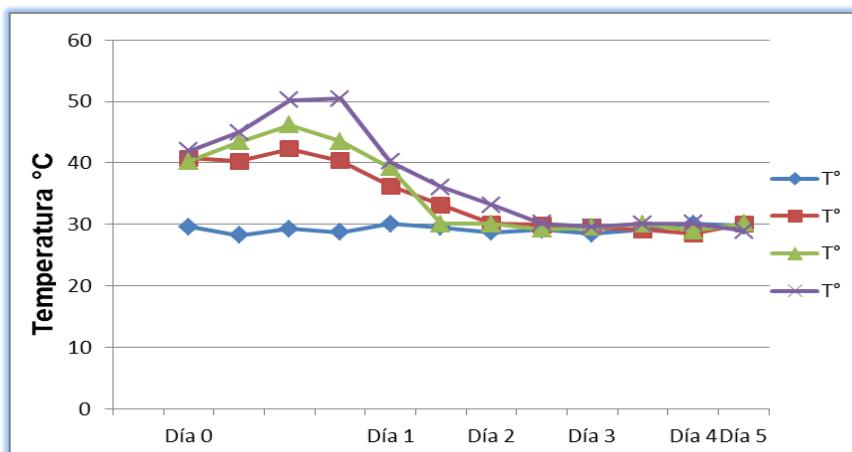


FIGURA 1. Temperatura de lodos tratados alcalinamente

Fuente: autores.

Humedad

Se demostró que el contenido de humedad en los lodos residuales disminuyó con las distintas proporciones de Cal viva (CaO) utilizadas, estos resultados muestran que

las dosificaciones utilizadas son directamente proporcionales a la disminución de la humedad, es decir, a mayor cantidad de alcalinizante mayor es la reducción de humedad en el lodo residual (Figura 2).

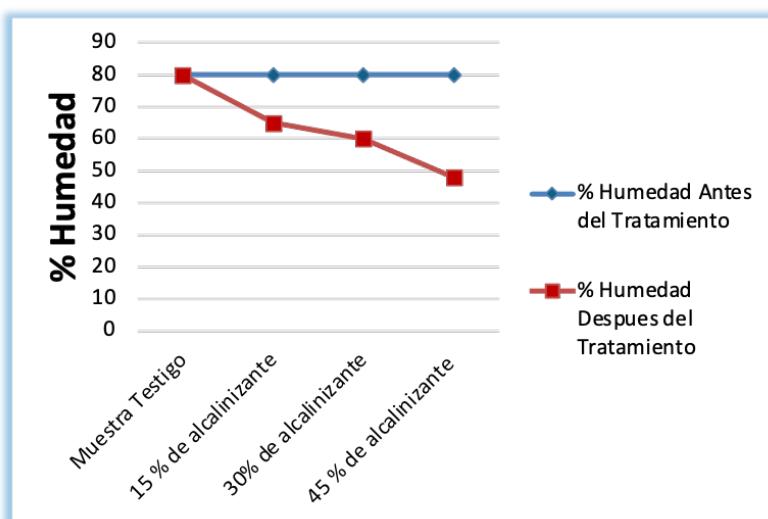


FIGURA 2. Análisis de humedad

Fuente: autores.

pH. Con las dosis de Cal viva (CaO) empleadas el pH aumentó a valores de 12 unidades (Figura 3), cumpliendo con las reco-

mendaciones de EPA para la reducción de patógenos (Velasco et al., 2019).

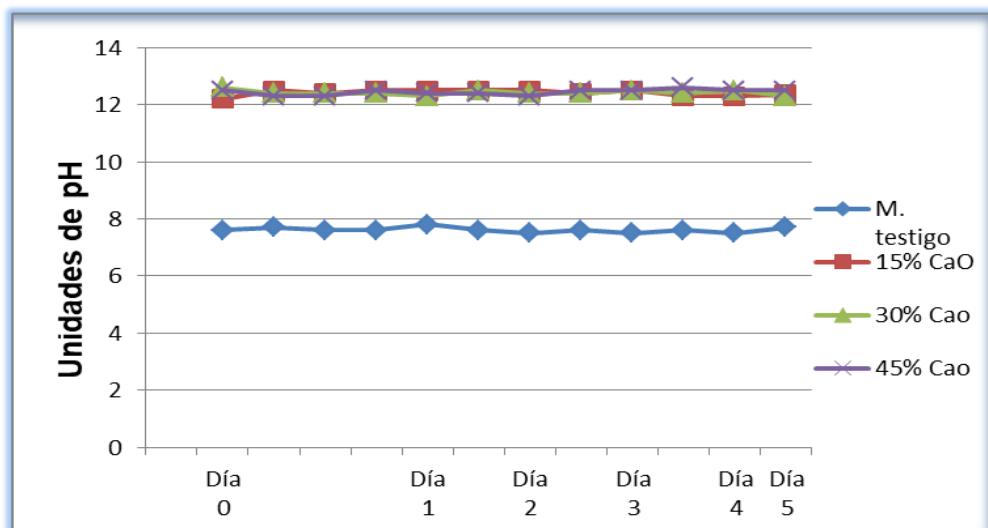


FIGURA 3. Análisis de pH a lodos tratados alcalinamente

Fuente: autores.

Análisis microbiológico

Realizar el análisis con los distintos métodos utilizados para la identificación de microorganismos se obtuvo que la Cal viva en distintas dosificaciones permitió la reducción de microorganismos, tales como las bacterias Gram Positivas y Gram Negativas a los 6 días de su tratamiento. Estos resultados confirman que si el pH se mantiene alto por más de 72 horas, aún sin cumplir el requisito de temperatura, es eficiente para obtener un biosólido que no genere riesgos ambientales y a la salud por microorganismos patógenos; estos datos son congruentes con lo reportado por Grabow et al. (1978), en el que la inactivación por la alcalinidad

del hidróxido juega un papel importante en la eficacia del tratamiento con cal.

La reducción de los microrganismos presentes en las aguas de plantas de tratamiento indirectamente favorece el control de la propagación de genes de resistencia, ya que se ha reportado que las plantas de tratamiento de aguas residuales se han considerado fuentes potenciales de intercambio y liberación de genes de resistencia a los antibióticos al medio ambiente (Hrenovic et al., 2017). Por otro lado, en el agar Plate Count, se realizó el conteo de colonias, que a medida que se aumentaban las diluciones realizadas se observaba la reducción del número de unidades formadoras de colonias, Figura 4.

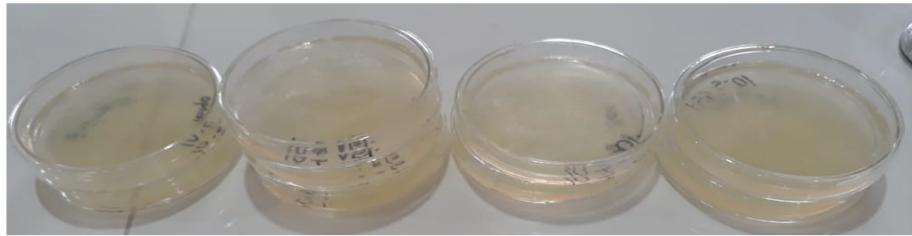


FIGURA 4. Primera inoculación en Agar Plate Count

Fuente: autores.

Los análisis microbiológicos en el Agar Sangre, Agar Mac Conkey y Agar Hektoen para determinar la efectividad del tratamiento alcalino realizado en los lodos residuales generados en la PTAR vía Puerto Mosquito se describen a continuación.

En el Agar Sangre se presentó crecimiento de bacterias Gram Positivas y Gram Negativas, en esta se determinó la reducción de microorganismos con las dosificaciones de 15% y 30%, se evidencia que para la completa eliminación de microorganismos la dosificación de Cal viva a utilizar es 45% en masa, Figura 5.

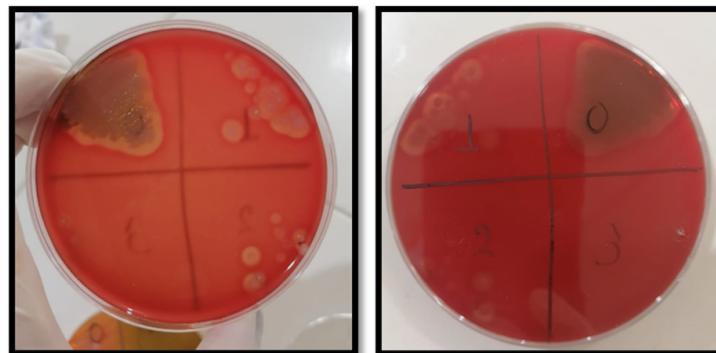


FIGURA 5. Inoculación en Agar Sangre

Fuente: autores.

Luego de 24h a condiciones aeróbicas ($35 \pm 2^{\circ}\text{C}$) se procedió al análisis del agar Mac Conkey, en donde se verificó el aislamiento de coliformes con presencia de bacilos entéricos Gram Negativos fermentadores y no fer-

mentadores de lactosa en el lodo residual sin tratamiento; de la misma manera se determina que a medida que aumenta la dosificación empleada se permite la completa eliminación de este tipo de Coliformes, Figura 6.

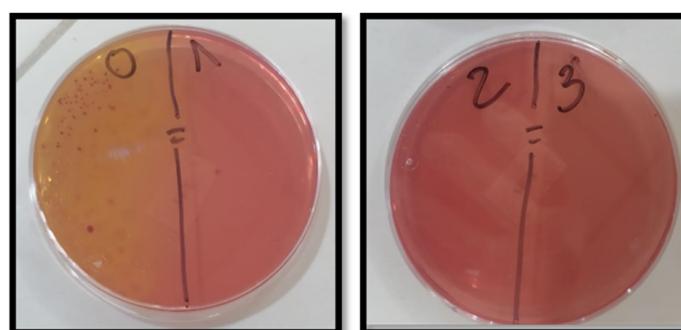


FIGURA 6. Inoculación en Agar Mac Conkey

Fuente: autores.

Se procedió al análisis del agar Hektoen, donde se verificó el aislamiento de *Salmonella Spp.* Y *Shigella Spp.* Por sus características morfológicas en el lodo residual sin tratamiento, el cual correspondía al cuadrante de 0 tratamiento, se observó un

crecimiento significativo. A medida que aumentaba la dosis de tratamiento con la cal se disminuyó el número de microorganismos presentes, lo cual es indicativo de un uso favorable de la cal como tratamiento, Figura 7.

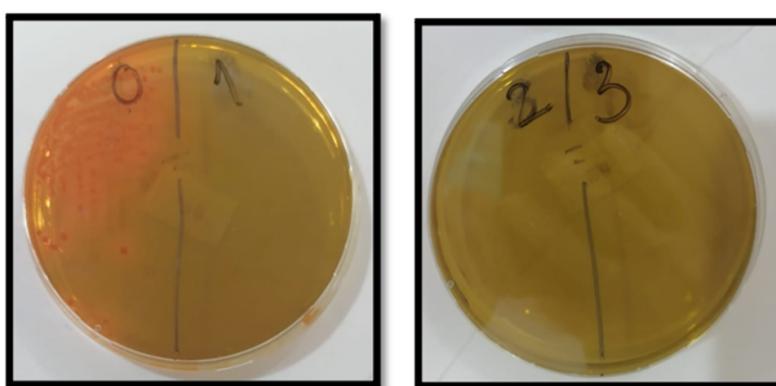


FIGURA 7. Inoculación en Agar Hektoen

Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

En resumen, el tratamiento alcalino de lodos residuales con Cal viva (CaO) es efectivo para la reducción de patógenos y disminución de humedad, aunque presenta desafíos en la formación de grumos y el mantenimiento de temperaturas elevadas. La estabilidad del pH es crucial para la efectividad del proceso.

Cada una de las dosificaciones de Cal viva (CaO) empleadas en los lodos residuales generados en la PTAR vía Puerto Mosquito son eficaces para la reducción de microorganismos patógenos; sin embargo, se demostró que a mayor cantidad de alcalinizante es mayor la reducción de microorganismos, permitiendo alcanzar la disminución total de bacterias Gram Positivas y Gram Negativas, presentes en el Agar Sangre. No obs-

tante, a partir de una concentración de 15% p/p el pH no es una variable para tener en cuenta para la disminución de microorganismos.

La adición de cal aumenta la temperatura de los lodos tratados (46°C - 50°C), especialmente a una concentración del 45%. A pesar de ello, estas temperaturas no se mantienen el tiempo mínimo recomendado por la EPA para la eliminación de patógenos.

Así mismo, se puede concluir que al mantener el pH por encima de 12 unidades sin tener en cuenta la variedad de temperatura, se evidencia la disminución de humedad con las dosificaciones proporcionadas a cada tratamiento, observándose que la proporción de 45% es quien tiene mejor eficacia comparada con las demás.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Nayibe Tatiana Sánchez-Álvarez: metodología, investigación, análisis de datos, escritura y borrador original. Roymar Alejandro Vargas-Blanco: administrador del proyecto, supervisión, investigación, conceptualización, análisis de datos, escri-

tura, revisión y edición. Pablo Alberto-Herrera: logística, revisión y edición. Ingris Yohana Hernández-Martínez: metodología, análisis de datos, revisión y edición. Rossember Saldaña Escorcia: metodología, análisis de datos, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Se realiza un agradecimiento especial a la Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica y a la PTAR vía puerto mosquito, Aguachica, Cesar, que prestó asistencia en la investigación en la parte

técnica, financiera, logística, intelectual, para la realización de este proyecto de investigación ejecutado como plan de trabajo de prácticas del estudiante.

LITERATURA CITADA

Ayala, E. A. (2020). *Aprovechamiento de los residuales provenientes de las PTAR para la reducción del impacto ambiental*. Universidad Científica del Sur. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1502>

Behnami, A., Zoroufchi, K., Pourakbar, M., Yeganeh, M., Esrafil, A., & Gholami, M. (2024). Biosolids, an important route for transporting poly- and perfluoroalkyl substances from wastewater treatment plants into the environment: A systematic review. *Science of The Total*

Environment, 925, 171559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171559>

Calixto, N. J., Bonilla, C., y Carillo Soto, G. A. (2022). *Tratamientos de aguas residuales* Universidad Francisco de Paula Santander; Ecoe Ediciones S.A.S.

Castillo, J. G., Balarezo, L. D., Vinces, M. B., y Zambrano, H. A. (2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Revista Riemat*, 5(1), 23–27. <https://doi.org/10.33936/riemat.v5i1.2499>

Decreto 1287 (2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. *Diario Oficial No. 49.208 de 10 de julio de 2014*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Presidencia de la República de Colombia.

Grabow, W. O., Middendorff, I. G., & Basson, N. C. (1978). Role of lime treatment in the removal of bacteria, enteric viruses, and coliphages in a wastewater reclamation plant. *Applied and Environmental Microbiology*, 35(4), 663–669. <https://doi.org/10.1128/aem.35.4.663-669.1978>

Hrenovic, J., Ivankovic, T., Ivezkovic, D., Repec, S., Stipanicev, D., & Ganjto, M. (2017). The fate of carbapenem-resistant bacteria in a wastewater treatment plant. *Water Research*, 126, 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.09.007>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1998). *NTC-ISO 5667-13. Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 13. Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas*. Icontec.

Khabiri, B., Ferdowsi, M., Buelna, G., Jones, J. P., & Heitz, M. (2022). Bioelimination of low methane concentrations emitted from wastewater treatment plants: a review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(3), 450–467. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1940830>

Malaviya, P., & Singh, A. (2016). Bioremediation of chromium solutions and chromium containing wastewaters. *Critical Reviews in Microbiology*, 42(4), 607–633. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2014.974501>

Saldaña, R. y Castillo, J. K. (2021). Alternativas para la estabilización de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales desde un enfoque sistémico: una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 175–194. <https://doi.org/10.22490/21456453.4504>

Torres, P., Madera, C. y Silva, J. (2009). Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista EIA*, 6(11), 21–37. <https://doi.org/10.24050/reia.v6i11.402>

Trejos, M. y Agudelo, N. (2012). *Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “Comestibles La Rosa” como alternativa para la generación de biosólidos*. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/2775>

Velasco, F., Molano, A. F. y Pramparo, L. M. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(26), 17–26. <https://doi.org/10.31908/19098367.1150>



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 15/12/2023

Fecha de aceptado: 25/05/2024

DOI: 10.22490/26653176.7592



EXPLORACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DOMA TRADICIONAL EN CABALLOS CUARTO DE MILLA EN LA CAPITAL DEL ARIARI

EXPLORATION OF TRADITIONAL DRESSAGE TECHNIQUES ON QUARTER MILE HORSES IN THE CAPITAL OF ARIARI

Hernando Arturo Villamizar Castro

Zootecnista, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Semillero de investigación Producción y Ambiente

ORCID: 0000-0002-6390-6577

havillamizarc@unadvirtual.edu.co

Litsy Luciene Gutiérrez Castro

Médico Veterinario Zootecnista, Magíster en Sistemas Sostenibles de Salud Producción Animal Tropical. Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia–UNAD. Semillero de investigación Producción y Ambiente

ORCID: 0000-0002-7395-5348

litsy.gutiererz@unad.edu.co

Citación: Villamizar-Castro, H. y Gutiérrez-Castro, L. (2024). Exploración de las técnicas de doma tradicional en caballos Cuarto de Milla en la capital del Ariari. *Agricolae & Habitat*, 7(2), 21 – 37. <https://doi.org/10.22490/26653176.7592>

RESUMEN

Contextualización: La interacción entre humanos y caballos ha sido fundamental a lo largo de la historia, con la doma tradicional desempeñando un papel crucial en el manejo equino. Este estudio pretende comprender las respuestas de los caballos Cuarto de Milla a las diversas técnicas de doma tradicional utilizadas en el municipio de Granada, Meta.

Vacío de Conocimiento: a pesar de la relevancia histórica de la doma, existe un vacío en la comprensión detallada de cómo los diferentes métodos empleados durante esta, afectan el bienestar de los caballos, por lo que este estudio contribuye al campo, al explorar estas respuestas y sus implicaciones en el bienestar equino.

Propósito: el objetivo principal es caracterizar las respuestas de los caballos Cuarto de Milla a distintos métodos usados dentro de la doma tradicional en la capital del Ariari. Específicamente identificar el impacto de estas prácticas en el comportamiento y bienestar de los equinos, así como distinguir las categorías incidentales en los métodos de doma tradicional de los caballos Cuarto de Milla empleados por diferentes domadores del municipio de Granada, Meta.

Metodología: se empleó una metodología de investigación cualitativa, utilizando una Checklist diseñada particularmente para este estudio, se obtuvo información complementaria desde referentes antrópicos experimentados y, en tiempo real, se observaron las respuestas de los caballos a lineamientos como la monta inicial en bruto, uso de riendas sin embocaduras y entrenamiento en libertad, entre otros.

Resultados y Conclusiones: los resultados revelaron variaciones significativas en las respuestas de los caballos a los diferentes métodos usados durante la doma y se observó que el trato suave y respetuoso, el uso de riendas sin embocaduras y las ayudas del talón sin espuelas generó una adaptación más rápida y una menor manifestación de estrés, en comparación con los métodos antagónico. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar el bienestar animal al emplear diferentes métodos de doma y resaltan la necesidad de técnicas más suaves y progresivas para mejorar la adaptación de los caballos Cuarto de Milla.

Palabras clave: bienestar animal, caballos Cuarto de Milla, comportamiento equino, doma tradicional, métodos de doma

ABSTRACT

Contextualization: The interaction between humans and horses has been fundamental throughout history, with traditional training playing a crucial role in equine management. This study aims to understand the responses of Quarter Horses to the various traditional training techniques used in the municipality of Granada, Meta.

Knowledge Gap: Despite the historical relevance of dressage, there is a gap in the detailed understanding of how the different methods used during dressage affect the well-being of horses, so this study contributes to the field by exploring these answers and its implications for equine welfare.

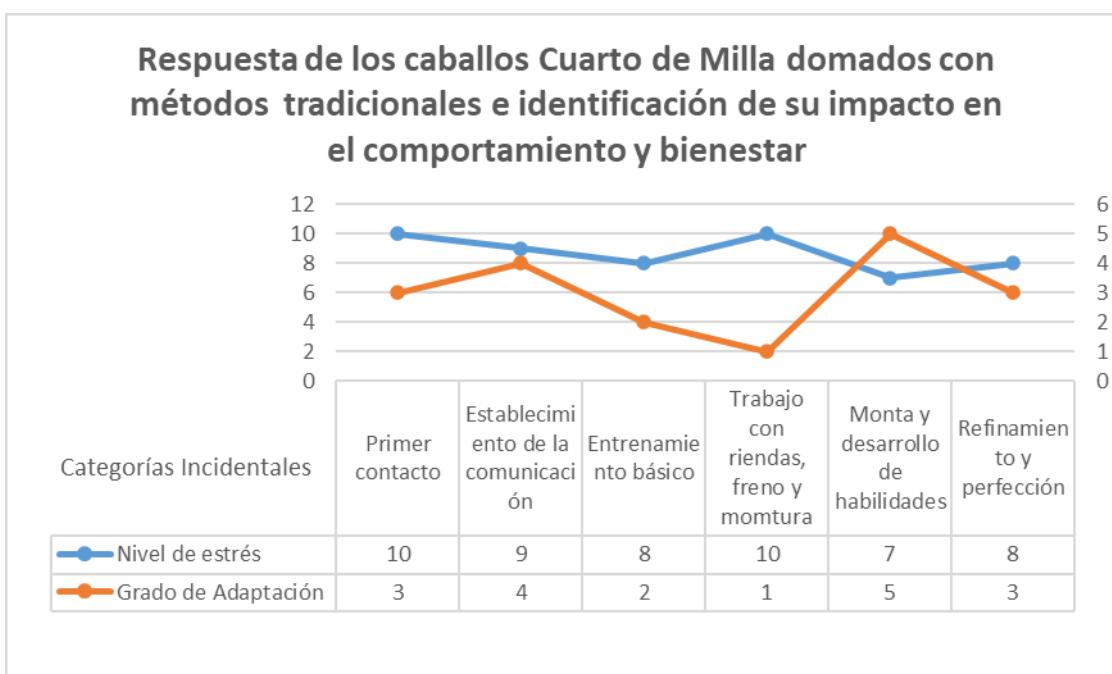
Purpose: The main objective is to characterize the responses of Quarter Horses to different methods used within traditional dressage in the capital of Ariari; in addition to the previous objective, it is specifically to identify the impact of these practices on the behavior and well-being of the horses, as well as to distinguish the incidental categories in the traditional taming methods of quarter horses used by different trainers in the municipality of Granada Meta.

Methodology: A qualitative research methodology was used, using a Checklist designed specifically for this study, complementary information was obtained from experienced anthropic references and in real time the responses of the horses to guidelines such as rough initial mounting, use of reins without mouthpieces were observed, and freedom training among others.

Results and Conclusions: The results revealed significant variations in the responses of the horses to the different methods used during dressage and it was observed that gentle and respectful treatment, the use of reins without mouthpieces and heel aids without spurs generated a faster adaptation and less manifestation of stress compared to antagonistic methods. These findings highlight the importance of considering animal welfare when employing different training methods and highlight the need for gentler and more progressive techniques to improve the adaptation of Quarter Horses.

Keywords: animal welfare, dressage methods, equine behavior, quarter horses, traditional dressage

RESUMEN GRÁFICO



*Los niveles de estrés se categorizan en:

De 7 a 10 Alto: con signos claros de estrés, como sudoración excesiva, temblores, agitación o comportamiento agresivo, así como reacciones exageradas o con miedo intenso a estímulos nuevos, mostrando comportamientos de evitación o escape.

De 4 a 6 Medio: con signos de inquietud ocasional como mover la cabeza, relinchar o girar en el corral, reacciones cautelosas, ligera ansiedad ante estímulos nuevos, pero con rápida recuperación.

De 1 a 3 Bajo: comportamientos relajados y tranquilos, no presenta signos de nerviosismo ni tensión y responde a estímulos nuevos o potencialmente estresantes con curiosidad en remplazo de miedo o ansiedad.

*Los niveles de adaptación se categorizan en:

De 7 a 10 Alto: se adapta rápidamente y sin dificultad a nuevas situaciones, cambios en la rutina o entornos desconocidos, responde positivamente al entrenamiento, aprendiendo nuevas tareas con facilidad y mostrando curiosidad.

De 4 a 6 Medio: se acopla a nuevas situaciones con cierta dificultad, pero logra hacerlo con tiempo y paciencia, además muestra una respuesta moderada al entrenamiento, con cierta reticencia inicial que disminuye con la repetición.

De 1 a 3 Bajo: presenta grandes dificultades para adaptarse a nuevas situaciones, entornos o cambios en la rutina, mostrando una alta resistencia al entrenamiento, aprende con lentitud y puede reaccionar negativamente a nuevas tareas.

Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

La conexión entre humanos y caballos se ha mantenido durante extensos períodos, estableciendo un lazo crucial que ha dejado una huella significativa en la historia, siendo el caballo uno de los elementos que ha supuesto mayor impacto en el devenir humano (Pérez-Palao, 2019). Dentro de este contexto, la doma tradicional ha sido un arte ancestral que ha permitido la conformación de una simbiosis única entre el hombre y el equino, trascendiendo culturas y regiones (Agüera, 2008). Es así como esta investigación ahonda en las técnicas de doma tradicional aplicadas específicamente en los excepcionales caballos Cuarto de Milla en la región del Ariari, los cuales incursionaron en la Orinoquía colombiana para complementar las actividades de campo y deporte que realizan los caballos criollos llaneros de silla.

La raza Cuarto de Milla se destaca por su velocidad, resistencia y versatilidad, características que han atraído el interés de criadores y amantes de los caballos a nivel mundial (Petersen et al., 2014); no obstante, la doma tradicional empleada en la capital del Ariari sobre estos caballos ha sido un proceso menos explorado en términos académicos, lo que resalta la importancia de este estudio en el contexto internacional de la cultura equina.

La municipalidad de Granada, enclavada en el corazón del departamento del Meta, considerada la capital del Ariari, (Mendoza, s.f.) sirve como microcosmos para el estudio de las técnicas tradicionales de doma en Caballos Cuarto de Milla. Esta región encapsula

un rico patrimonio cultural profundamente entrelazado con las prácticas ecuestres, tal como lo señala Moreno (2018, p.20), quien evidencia que en la zona el caballo no es simplemente un medio de transporte o un compañero de trabajo, encarna tradición, herencia, cultura y sustento.

Antecedentes investigativos revelan que la doma tradicional, con sus técnicas arraigadas en la historia, no solo moldea el comportamiento y desempeño de los caballos, sino que también influye en su bienestar físico y emocional (Hamilton et al., 2022); sin embargo, la falta de estudios específicos sobre la aplicación de estas técnicas en los Cuarto de Milla en esta región limita la comprensión integral de su impacto en esta distinguida raza. Dicha ausencia de exploración científica y un análisis comprensivo de estas técnicas tradicionales de doma evidencia un vacío de conocimiento, el cual restringe nuestra capacidad para comprender las complejidades y matices de la relación humano-caballo, particularmente en el contexto de las metodologías empleadas para domar.

Por lo anterior, es relevante buscar a través de una metodología rigurosa, caracterizar estas prácticas ancestrales, permitiendo no solo comprender su aplicación, sino también brindar luces sobre su pertinencia y adaptabilidad en el contexto contemporáneo, lo que permite reconocer y garantizar tanto el bienestar como el tratamiento ético durante la doma y entrenamiento de estos equinos de élite.

Este estudio no solo aspira a llenar un vacío investigativo, sino también a proporcionar información valiosa para criadores, domadores, entrenadores y profesionales del ámbito equino, contribuyendo así al mejoramiento de las prácticas de manejo y cuidado en los caballos Cuarto de Milla. El objetivo principal de este estudio es explorar a pro-

fundidad las técnicas de doma tradicional empleadas en los caballos Cuarto de Milla en la capital del Ariari, con el fin de identificar sus particularidades, su influencia en el comportamiento equino y su potencial impacto en el bienestar animal (Ugaz et al., 2020).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio fue realizado en 10 predios rurales, localizados en el municipio de Granada, Meta, dedicados a la ganadería extensiva en área de sabana y vega, así como a la cría de caballos criollos llaneros y especialmente de caballos Cuarto de Milla (Quarter Horse) seleccionados por su versatilidad y capacidad de trabajo. La gestión de estos caballos incluye prácticas de manejo tradicional, centradas en la doma y entrenamiento para tareas de campo y competición. Cada predio cuenta con un amansador, es decir un total 10 domadores tradicionales, para el presente estudio cada uno trabajó dos potros, para un total observado de 20 ejemplares.

El municipio de Granada está localizado en el departamento del Meta en la zona central de la subregión del Ariari, razón que le ha valido para ser catalogada como capital de dicha región; además, posee una extensión territorial que abarca 350 km², distribuida en tres zonas climáticas: perhúmedo mega-termal, muy húmedo mega-termal y húmedo mega-termal, caracterizado por un clima cálido tropical con una temperatura

media variando entre los 24°C y los 25,6 °C, la precipitación anual oscila entre 2.400 y 2.800 milímetros, mientras que su altitud varía desde los 372 hasta los 410 msnm.

Geográficamente, se ubica entre la latitud 3°32'49.37"N y la longitud 73°42'25.90"O del meridiano de Greenwich y a 87 kilómetros de Villavicencio, colinda por el norte y oriente con el municipio de San martín de los llanos, por el norte y occidente con el municipio del Castillo, por el occidente con Lejanías y San juan de Arama, por el sur con el municipio de Fuente de Oro (Alcaldía de Granada, s.f.). En líneas generales, a excepción de las áreas inclinadas, el relieve del municipio es mayormente plano, con inclinaciones que no exceden el tres por ciento, los elementos geográficos prominentes incluyen el valle del río Ariari, áreas de sabana y las pendientes que señalan cambios de elevación entre las zonas mencionadas previamente (Alcaldía de Granada, s.f.).

Acorde con ICA (2023), la población equina en el municipio es de 1750 y el censo de cada predio incluye aproximadamente 13 ejemplares de la raza Cuarto de Milla, de difer-

entes edades, por lo que este entorno ofrece un marco adecuado para la realización de estudios sobre el impacto de la doma tradicional en el bienestar y comportamiento de los caballos de esta raza; adicionalmente, cada finca cuenta con instalaciones específicas para el manejo equino, incluyendo corrales y áreas de entrenamiento que cumplen con los estándares necesarios para la correcta evaluación de las variables de estudio.

Levantamiento y análisis de la información

Durante las sesiones de doma se llevó a cabo un estudio observacional descriptivo con 20 caballos Cuarto de Milla en edades promedio de 30 meses, para analizar las técnicas tradicionales aplicadas en caballos de esta raza en cada predio, de acuerdo con el cronograma de actividades. Adicionalmente, se obtuvo información desde 10 referentes antrópicos para comprender las técnicas utilizadas y sus fundamentos, lo que requirió el uso y aplicación de una lista de chequeo diseñada por Villamizar (2023), lo que facilitó el registro detallando de aspectos específicos de cada sesión de doma, incluyendo métodos empleados, duración de las sesiones, reacciones de los caballos, entre otros.

En relación con lo anterior, se resalta que la lista de chequeo contiene preguntas básicas, propias de la entrevista estructurada, razón por la que fue grabada y posteriormente transcrita para su análisis, en el que se utilizó un enfoque cualitativo; de la misma forma, se realizó para las observaciones, identificando patrones en las técnicas de doma empleadas. Este estudio se llevó a cabo con el consentimiento informado de los propietarios de los caballos y se respeta-

ron las pautas de bienestar animal durante todas las observaciones.

Luego de analizar las entrevistas y definir las tendencias en la doma tradicional empleada en caballos Cuarto de Milla, se procedió a detallar cada una mediante un estudio observacional continuo en tiempo real. El resultado obtenido fue validado y aprobado por cada uno de los domadores experimentados involucrados en el proceso.

Implicaciones éticas

Los estudios que impliquen la participación humana en experimentos, encuestas, entrevistas o análisis cualitativos, necesitan un sólido marco ético que asegure la precisión y validez de los resultados, sin comprometer los derechos fundamentales y principios de los participantes involucrados. Este enfoque ético se establece como el soporte esencial para garantizar la integridad y legalidad de la investigación.

Por considerarse fundamental que todos los individuos nazcan con igualdad de derechos y libertades, mereciendo ser tratados con igual respeto, solidaridad y dignidad, se acude a los principios establecidos en la Declaración Universal de Derechos Humanos de 1948 y los preceptos éticos universales y la declaración de Helsinki de 1964, con principios éticos para las investigaciones en seres humanos (AMM, 2017), los cuales deben ser el norte ético en todas las investigaciones de este tipo atendiendo los siguientes preceptos:

- Es esencial salvaguardar la privacidad de los participantes y la confidencialidad de su información personal en la investigación.

- La participación de individuos con capacidad para otorgar su consentimiento informado debe ser completamente voluntaria.
- Cada posible participante debe recibir información detallada sobre los objetivos, métodos, financiamiento, posibles conflictos de interés, afiliaciones institucionales del investigador, beneficios esperados, riesgos previstos y cualquier molestia anticipada del experimento, además de las disposiciones posteriores al estudio y otros aspectos relevantes.
- Debe estar informado de su derecho a participar o no en la investigación y a retirar su consentimiento en cualquier momento sin temor a represalias.
- Todos los participantes deben tener la opción de recibir información acerca de los resultados generales del estudio.
- Es fundamental respetar la voluntad de la persona en su decisión de participar o no en la investigación.
- Se debe solicitar el consentimiento informado para la recopilación, almacenamiento y posible reutilización de datos.
- El consentimiento informado y voluntario de la persona debe ser solicitado por escrito.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como responsable de asegurar estos derechos, todo individuo involucrado directamente en la investigación, una vez debidamente informado, completó y firmó el formato F-11-1-5 de consentimiento informado para participantes en proyectos de investigación de la UNAD.

Resultados

Durante el estudio de las metodologías de doma aplicadas al caballo Cuarto de Milla se empleó una lista de control con base en la descrita por Villamizar (2023), que cons-

ta de 13 lineamientos distintos, lo que posibilitó a partir de la reducción de datos el reconocimiento de 33 áreas temáticas con sus respectivas categorías y subcategorías emergentes. Estos resultados permitieron observar una variabilidad significativa en la técnica de doma tradicional empleada sobre los caballos Cuarto de Milla durante las sesiones de doma. Lo que permitió la identificación de conexiones fenomenológicas relevantes; tanto las preguntas como las observaciones se centraron en lo expuesto en la Tabla 1.

TABLA 1.

Descripción de lineamientos, áreas temáticas y categorías emergentes

Lineamiento	Área temática	Categoría emergente
Información general	Nombre	Nombre del domador
	Edad	Edad del domador
	Tiempo de experiencia	Tiempo de experiencia del domador en la doma tradicional
Selección del caballo	Consideraciones iniciales de manejo	Manejo previo del caballo en entorno natural
	Características físicas clave	Resistencia, agilidad y predisposición para el trabajo
	Consideraciones genéticas	Líneas de sangre con historial de adaptabilidad y docilidad
	Edad de inicio	Edad del potro en años para iniciarla en la doma tradicional
Inicio de la doma	Primeros pasos	Socialización, manejo cercano y desarrollo de confianza
	Preparación	Establecimiento de rutinas, exposición a entornos controlados y desarrollo progresivo de relaciones hombre-caballo
Establecimiento de la comunicación	Técnicas empleadas	Manejo suave, uso de señales no verbales y paciencia en la construcción de confianza
	Ganar confianza del potro	Proporcionar seguridad y consistencia en el trato respetando el ritmo individual del caballo
	Primeros comandos	Comandos básicos de voz y señalización corporal para establecer comunicación y control
Equipamiento básico para la doma	Elementos	Jáquima, cabezadas, riendas, embocaduras, monturas adecuadas para la doma
	Equipos necesarios	Elementos de protección para el domador y caballo
Entrenamiento básico	Ejercicios	Caminata en línea recta, giros suaves, detenciones controladas
	Progresión	Incremento gradual de la complejidad, respetando los límites del caballo
	Duración	Sesiones diarias en minutos con énfasis en el refuerzo positivo
Trabajo con las riendas, el freno y la montura	Maneo de riendas	Sesiones de exposición progresiva a las riendas para lograr contacto y aceptación
	Introducción al freno	Proceso gradual de acostumbramiento al freno
	Adaptación a la montura	Proceso gradual de acostumbramiento con sesiones de exposición progresiva a la montura hasta obtener comodidad

Monta y desarrollo de habilidades	Primera monta	Abordaje lento y progresivo, enfocado en mantener la calma y seguridad
	Habilidades	Equilibrio, obediencia a comandos y adaptación al peso del jinete
	Desafíos comunes	Resistencia inicial, reacciones nerviosas, ajuste al peso del jinete
Refinamiento y perfección	Trabajo en refinamiento	Foco en movimientos específicos, perfeccionamiento de habilidades adquiridas previamente
	Obediencia	Consistencia en la respuesta a los comandos, precisión en movimientos
Evaluación del progreso	Indicadores	Respuesta a comandos, nivel de estrés durante el proceso, adaptación al equipamiento
	Criterios de caballo completamente domado	Respuesta consistente a comandos, comportamiento tranquilo y predecible en la mayoría de las situaciones
Consideraciones éticas y de bienestar animal	Respuesta ante la resistencia	Adaptación de estrategias de doma, evitando métodos coercitivos
	Priorización del bienestar	Pausas regulares, atención a señales de malestar, ajustes en el entrenamiento según las necesidades individuales del caballo
Preservación y transmisión de la tradición	Medidas de preservación	Documentación detallada de técnicas, mentoría a nuevos domadores, programas educativos sobre la técnica tradicional
	Transmisión	Enseñanza práctica y teórica, promoción de prácticas éticas y humanas en la doma
Recomendaciones y comentarios finales	Recomendaciones para domadores	Priorizar el vínculo humano-animal, mantener métodos no violentos y adaptar técnicas a las necesidades individuales del caballo
	Comentarios finales	Importancia de la paciencia, empatía, y comprensión de la naturaleza equina en la doma tradicional

Fuente: autores.

El resultado adicional de estos hallazgos, como lo referencia Rueda, et al. (2023) son exclusivamente información de tipo cualitativo, cuyo análisis pretende lograr descripciones detalladas de los fenómenos estudiados; así, se estableció que la variabilidad significativa en las técnicas de doma

tradicional empleadas por los domadores en los caballos Cuarto de Milla durante las sesiones, se regían por diez enfoques predominantes (Tabla 2), fundamentados en los métodos de muestreo complementarios a las técnicas de registro propios de la etología aplicada (Seminario, 2021).

TABLA 2.

Enfoques predominantes en la variabilidad de las técnicas de doma tradicional

Técnica de doma	Método empleado	Respuesta de los caballos	Características observadas	Bienestar animal
Primera monta en bruto	Aplicación gradual de presiones físicas, control inicial	Tensión muscular inicial Movimientos restringidos o limitados	Resistencia, adaptación al control, expresiones faciales y corporales	Estrés inicial, reacciones físicas (tensión muscular, miedo)
Uso de riendas	Aplicación progresiva de riendas y estribos	Movimientos de cabeza, resistencia y tensión ante presión de talones	Comunicación efectiva, menor tensión muscular, aceptación de la guía	Menos estrés, interacción más fluida, evidencia de comodidad y confianza
Entrenamiento en libertad	Exploración en entornos controlados con mínima intervención	Relajación muscular y movimientos fluidos, actitudes curiosas y receptivas	Niveles de estrés, interacción con el entorno, grado de confianza	Varía según la adaptación, puede mostrar menor estrés, mayor libertad
Socialización inicial	Manejo suave, exposición controlada al entorno, establecimiento de confianza progresiva	Relajación general del cuerpo, orejas hacia adelante y expresión facial sin tensión	Curiosidad, respuesta positiva a la presencia humana, disposición para interactuar	Niveles de estrés, señales de miedo o ansiedad, disposición para acercarse al domador
Establecimiento de rutinas	Establecimiento de horarios y actividades regulares, refuerzo positivo en la rutina diaria	Expectativa asociada a actividades regulares, comportamiento relajado con reacción calmada y anticipada	Adaptación rápida a patrones de comportamiento, respuesta positiva a la rutina	Niveles de estrés ante cambios en la rutina, comportamiento errático o agitado
Entrenamiento básico	Ejercicios al paso, detenciones controladas, giros suaves	Movimientos fluidos y coordinados Tensión muscular al frenar	Aprendizaje rápido de ejercicios básicos, capacidad de respuesta a señales	Fatiga excesiva, dolor evidente, comportamiento de evitación ante ejercicios
Adaptación a la montura	Exposición gradual a la montura, asociación positiva con su presencia.	Curiosidad y aceptación progresiva, relajación y adaptación progresiva a la sensación	Aceptación progresiva de la montura y reducción del nerviosismo	Señales de incomodidad con la montura y resistencia al contacto con esta

Introducción al freno	Exposición gradual al freno asociación positiva por saboreo	Aceptación progresiva por asociación con sensaciones positivas, movimientos de la boca y lengua	Aceptación progresiva del freno y apertura de la boca sin resistencia al contacto con los dedos	Señales de dolor al colocar el freno, presencia de espuma en la boca o sangrado
Refinamiento de habilidades	Foco en movimientos específicos, perfeccionamiento de órdenes previamente enseñadas	Acierto y control en movimientos específicos, posible tensión muscular en movimientos detallados	Precisión en ejecución de movimientos, mejora en equilibrio, coordinación y reunión	Señales de dolor o incomodidad al realizar movimientos específicos, resistencia inexplicable a órdenes previamente aprendidas
Evaluación del progreso	Seguimiento de la respuesta a comandos, nivel de estrés y adaptación al entrenamiento	Respuesta directa y precisa a órdenes, estrés reducido y adaptación progresiva al entrenamiento	Respuesta consistente a comandos, disminución del estrés en sesiones posteriores	Cambios abruptos en la conducta y el comportamiento, aumento constante de estrés sin causa aparente

Fuente: autores.

Discusión

La variabilidad de recursos utilizados durante la doma tradicional de caballos Cuarto de Milla en Granada refleja un profundo conocimiento de los domadores sobre la especie equina, lo que les permite ajustar la intensidad de las acciones, presiones y mandos según sea necesario. La observación de los patrones de respuesta de los caballos (Heras et al., 2023) resalta la importancia de considerar las características individuales de cada animal al aplicar dichas técnicas.

La preferencia por diferentes enfoques está influenciada por la tradición familiar, la experiencia del domador y las percepciones sobre el bienestar animal (Alvarado, 2019), por lo que la adaptación diferencial de los caballos a las distintas técnicas resalta la

necesidad de evaluar de manera individualizada cada proceso, considerando el impacto en el comportamiento y bienestar de los equinos (Sanmartín-Sánchez et al., 2015).

Estos hallazgos, respaldados por la experiencia práctica de los domadores y apoyados por la literatura científica relacionada con el comportamiento equino, subrayan la relevancia de abordar la doma desde una perspectiva individualizada, priorizando el bienestar y la comunicación efectiva entre humano y caballo (Kieson, 2022).

La lectura de la Checklist podría ofrecer una base sólida para la discusión (Manterola y Astudillo, 2013) sobre el bienestar animal y las respuestas de los caballos Cuarto de Milla a los distintos procesos durante la doma tradicional empleada en este estudio,

por lo que se hace oportuno incluir en la discusión algunos puntos relevantes como los tratados a continuación.

Impacto en el bienestar animal

La lista de chequeo evidencia las tendencias generales a influir en el bienestar emocional de los caballos a partir de las técnicas empleadas durante el proceso de doma tradicional, muestra de ello se evidencia en los altos niveles de estrés inicial reflejando el impacto adverso de los métodos tradicionales violentos; así mismo, se encuentra una mejora gradual en adaptación de los caballos a medida que avanzaban las etapas de doma a pesar de los niveles de estrés, el cual presentó una disminución progresiva en las etapas finales de la doma, lo que sugiere una habituación a las prácticas de manejo y entrenamiento.

Por otra parte, hubo una considerable variabilidad individual en la respuesta de los caballos tanto en niveles de estrés como en grado de adaptación, lo que destaca la necesidad de enfoques personalizados en el manejo y entrenamiento equino. Esto facilita inferir que los métodos de doma tradicional utilizados en el estudio han impactado en el bienestar de los caballos, ya que contribuyeron a regular los niveles de estrés crónicamente altos y a una adaptación limitada, lo que pone de relieve la importancia de considerar métodos de doma más humanitarios y basados en la comprensión del comportamiento equino.

Diferencias individuales

Se destaca la variabilidad en las respuestas de los caballos durante las diferentes etapas, toda vez que algunos equinos pueden mostrar adaptación rápida independientemente del método, mientras que otros pueden experimentar más estrés o dificultad para establecer una comunicación fluida, lo que subraya la importancia de considerar las características individuales de cada animal.

Consideraciones para el entrenamiento

Estos hallazgos subrayan la importancia de adoptar métodos de doma que reduzcan el estrés y fomenten una comunicación efectiva para garantizar un mayor bienestar en los caballos (Gardela et al., 2020), durante el proceso de entrenamiento. Además, demuestran cómo estas técnicas pueden adaptarse para proporcionar una experiencia más positiva para los caballos Cuarto de Milla.

Los criterios considerados a partir del análisis de la lista de chequeo ofrecieron una herramienta integral para la posterior evaluación y discusión de los resultados obtenidos, permitiendo identificar tendencias y patrones relevantes en el proceso de doma de los caballos Cuarto de Milla, lo que puede ser considerado relevante en futuras investigaciones.

4. CONCLUSIONES

Se proporciona una visión detallada de las respuestas de los caballos Cuarto de Milla a diferentes métodos de doma tradicional en el municipio de Granada, Meta, a partir de los resultados obtenidos a través de la aplicación de la Checklist revelando variaciones significativas en las respuestas de los equinos a las distintas técnicas de doma.

Una de las contribuciones más significativas de este estudio radica en la identificación clara de las respuestas de los caballos a los diferentes elementos empleados en la doma y sus técnicas de manejo, pues se observó que el uso de riendas sin embocadura y los talones generó una adaptación más rápida y una menor manifestación de estrés en comparación con la monta inicial en bruto, lo que sugiere una posible mejora en el bienestar animal al emplear métodos más suaves y progresivos.

Entre las particularidades del estudio está la observación detallada de la respuesta in-

dividual de cada caballo, lo que ofrece una comprensión más profunda y específica del impacto de las técnicas de doma en el bienestar del equino.

Este estudio subraya la importancia de considerar el bienestar animal en las prácticas de doma tradicional y se sugiere la aplicación de métodos de doma más suaves y progresivos, como el uso de riendas sin frenos y el trato suave para mejorar la adaptación de los caballos y reducir potencialmente los niveles de estrés.

Los hallazgos respaldan la idea de que el bienestar animal está estrechamente relacionado con las técnicas de doma empleadas en los caballos Cuarto de Milla, por lo que se recomienda su aplicación en futuros estudios de muestra más amplia y diversa para validar y profundizar en estos resultados, así como explorar la influencia a largo plazo de estas prácticas en el comportamiento y la salud de los caballos.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Hernando Arturo Villamizar Castro: metodología, investigación, análisis y toma de datos, conceptualización, logística, adquisición de recursos, escritura, borra-

dor original. Litsy Luciene Gutiérrez Castro: conceptualización, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

De forma especial a los señores Luis María Guerrero (Cámara), Yesid Páez (El Loco), Roberto Trujillo (El viejo), Ignacio Murillo (Nacho), Alexi Hernández (El Flaco), Ismael Castro (El Tigre), Víctor Ramírez (Catire), Hernán Barreto (Colrao), Hernando Mejía (Nando) y Rolando Aguilar (El Criollo; q.e.p.d.); domadores tradicionales y experimentados del municipio de Granada, Meta, cuya colaboración y disposición fueron fundamentales para el desarrollo exitoso de este estudio.

A la red de docentes de la Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y de Medio Ambiente

ECAPMA de la UNAD por el apoyo brindado y, especialmente, al Semillero de investigación Producción y Ambiente, por su cooperación técnica y orientación a lo largo de este proyecto.

Este trabajo ha sido posible gracias al respaldo del proyecto “Caracterización del Proceso de Doma Tradicional, Aplicada en Equinos de Silla en el Municipio de Granada, Meta”, cuyos recursos fueron vitales para la recolección de datos y análisis presentados en este artículo.

LITERATURA CITADA

Agüera, E. (2008). *Domesticación y origen de la doma y manejo del caballo*. Universidad de Córdoba. <https://www.uco.es/organizacion/protocolo/images/documentos/memorias-cursos/2008-2009/leccion-magistral.pdf>

Alcaldía Municipal de Granada (s.f.). *granada-meta.gov.co*. <https://granada-meta.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Presentacion.aspx>

Alvarado, I. (2019). *Centauros indomables: el hombre y el caballo*. Centro de Estudios de la Orinoquia. <http://hdl.handle.net/1992/31477>

Asociación Médica Mundial. [AMM]. (2017). *Declaración de Helsinki de la AMM–Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos*. <https://www.wma.net/es/policies-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>

Gardela, J., Carbajal, A., Tallo, O., Olvera, S., Álvarez, M., Jose, E., & López, M. (2020). Relocation Stress and Other Factors Influence Hair Cortisol Concentrations in Horses. *Animals*, 10(4), 2-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ani10040642>

Hamilton, K. L., Lancaster, B. E., & Hall, C. (2022). Equine conflict behaviors in dressage and their relationship to performance evaluation. *Journal of Veterinary Behavior*, 55(56), 48-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jveb.2022.07.011>

Heras, M. J., Piedra, A. L. y Cornejo, M. E. (enero de 2023). Refuerzo del vínculo humano animal traves de la doma natural de caballos. *Revista Killkana Sociales*, 7(Especial), 63-74. <https://doi.org/https://doi.org/10.26871/killkanasocial.v7iEspecial.1215>

Hoyos-Patiño, J. F. y Gómez, R. A. (10 de junio de 2016). Caracterización de las tendencias en la doma de caballos de silla colombiano. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC*, 8(1), 3-11. <https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/fagropec/article/view/331/321>

Instituto Colombiano Agrario [ICA]. (2023). Censos Pecuarios Nacional. *ica.gov.co*. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>

Kieson, E., & J., S. (2022). Horse-Human Communication: The Roles of Language and Communication in the Context of Horse-Human Interactions. *International Journal of Zoology and Animal Biology*, 5(6), 1-10. <https://doi.org/10.23880/izab-16000414>

Manterola, C. y Astudillo, P. (2013). Lista de verificación para el reporte de estudios observacionales descriptivos: Iniciativa MINCIR. *International Journal of Morphology*, 31(1), 115-120.

Moreno Riaño, J. (2018). Vaqueros de San Martín de los Llanos, Meta, Colombia : el oficio y sus lugares de práctica en la

salvaguardia de los cantos de trabajo de llano. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3417>

Pérez, E. (2019). *La domesticación del caballo (Equus ferus caballus)* [Trabajo de grado]. Facultad de Ciencias, [Universidad D'Alacant]. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/93151/1/La_domesticacion_del_caballo_Perez_Palao_Esther.pdf

Petersen, J. L., Mickelson, J. R., Cleary, K. D., & McCue, M. E. (2014). The American Quarter Horse :Population Structure and Relationship to the Thoroughbred. *Journal of Heredity*, 5(2), 48-162. <https://doi.org/10.1093/jhered/est079>

Mendoza, J. (año). Somos el resultado de una historia. *Revista Digital-Construyamos Nuestra Ciudad!!!*, 4, 2-11. <https://granada-meta.gov.co/NuestraAlcaldia/RevistasInstitucionales/Revista%20Institucional%20Edici%C3%B3n%204.pdf>

Rueda, M. P., Armas, W. y Sigala, L. (2023). Análisis cualitativo por categorías a priori: Reducción de datos para estudios gerenciales. *Ciencia y Sociedad*, 48(2), 83-96. <https://doi.org/https://doi.org/10.22206/cys.2023.v48i2>

Sanmartín-Sánchez, L., Perea, J., Blanco-Penedo, I., Pérez-Rico, A. y Vega-Pla, J. L. (2015). Bienestar animal en equinos (*Equus Caballus*): Una evaluación comparativa en reproductores del sur de España. *Revista Científica*, 25(6), 471-480. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95944009008.pdf>

Seminario, R., Barrutia, I., Centurion, A., Barrutia, A. y Chamba, Y. (2021). Etología aplicada: Mucho más que una ciencia. En E. I. *La Investigación como Eje de Desarrollo* (Primera ed., Vol. 12, pp. 356-

382). EIDEC. <https://doi.org/https://doi.org/10.34893/qd1p-0r09>

Ugaz, C., Carlini, R., & Echeverria, C. (2020). Generación sistematizada de indicadores de bienestar animal para equinos de carrera en hipódromos de Santiago de Chile. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4), 1-17. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i4.17471>

Villamizar, H. A. (2023). *Caracterización del Proceso de Doma Tradicional, Aplicada en Equinos de Silla en el Municipio de Granada, Meta* [Trabajo de grado]. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Ecapma. Zootecnia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/59052/havillamizarc.pdf?sequence=3&isAllowed=y>



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 17/04/2024

Fecha de aceptado: 22/07/2024

DOI: 10.22490/26653176.8062



EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE UN CULTIVO DE ARVEJA BAJO DOS SISTEMAS DE SIEMBRA EN AQUITANIA-BOYACÁ

EVALUATION OF PRODUCTIVITY OF A PEA CROP UNDER TWO SYSTEMS IN AQUITANIA, BOYACÁ

Edelmira Alarcón Álvarez

Estudiante programa agronomía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

ORCID: [HTTPS://orcid.org/0009-0001-4393-6795](https://orcid.org/0009-0001-4393-6795)

ealarconal@unadvirtual.edu.co

Yenny Maritza Camacho Torres

Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8668-6274>

Yenny.camacho@unad.edu.co

Marionel Alarcón Urrutia

Exalumno, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4214-9458>

malarconu@unadvirtual.edu.co

Citación: Alarcón, E., Camacho, Y. y Alarcón, M. (2024). Evaluación de productividad de un cultivo de arveja bajo dos sistemas de siembra en Aquitania, Boyacá. *Agricolae & Habitat*, 7(2), 39–54. <https://doi.org/10.22490/26653176.8062>

RESUMEN

Contextualización: el estudio se enfoca en el área de la agricultura y la producción alimentaria, centrándose especialmente en el cultivo de arvejas (*Pisum sativum L.*) en el municipio de Aquitania. Se analiza la posibilidad de introducir esta actividad agrícola como una opción viable y sostenible en una zona que, a lo largo de su historia, ha confiado en prácticas agrícolas tradicionales, como el cultivo de cebolla larga y la cría de ganado. En esa medida, el estudio promueve el desarrollo agrícola sostenible, la seguridad alimentaria y la resiliencia económica en la región de Aquitania y busca ofrecer lecciones valiosas para otras comunidades agrícolas.

Vacío de conocimiento: el sistema de cultivo de arveja desarrollado en el área rural del municipio de Aquitania Boyacá mantiene unas características de producción que pueden resultar deficientes, en comparación con otros métodos de siembra que generaría mayor productividad mediante el fortalecimiento de prácticas agrícolas, sistemas de siembra y manejo del sistema productivo en general.

Propósito: el estudio tiene como objetivo principal evaluar la productividad del cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) en el municipio de Aquitania, bajo dos sistemas de siembra: sistema de siembra tradicional y

sistema de tutorado. Así mismo, fue necesario aplicar técnicas de manejo limpio comunes en la zona y fundamentadas en prácticas agrícolas sostenibles, en comparación con un manejo químico del cultivo donde se propició el uso de fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas comunes en el área de influencia del estudio.

Metodología: la metodología empleada en el estudio se basa en un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA), con doce unidades experimentales correspondientes a cuatro tratamientos y tres repeticiones, donde se evaluaron parámetros de productividad como: número de días a germinación, número de días a floración, número de días a cuajado y número de días a cosecha, número de vainas por planta y número de granos por vainas. El estudio incluyó el desarrollo ANOVAS y pruebas de comparación DUNCAN desarrolladas mediante programa R Core Team (2020)

Resultados y conclusiones: como resultados de la investigación se encontró que en los tratamientos 3 y 4, que desarrollaron el sistema de siembra bajo tutorado, se obtuvieron mejores resultados en términos de productividad con respecto al sistema de siembra de forma tradicional.

Palabras clave: efectividad, manejo químico, producción limpia, tutorado

ABSTRACT

Contextualization: The study focuses on the area of agriculture and food production, focusing especially on the cultivation of peas (*Pisum sativum L.*) in the municipality of Aquitania. It analyzes the possibility of introducing this agricultural activity as a viable and sustainable option in an area that has relied mainly on traditional agricultural practices, such as long onion cultivation and cattle raising, throughout its history; it promotes sustainable agricultural development, food security and economic resilience in the Aquitania region and may offer valuable lessons for other farming communities.

Knowledge gap: The pea cultivation system developed in the rural area of the municipality of Aquitania Boyacá maintains some production characteristics that may be deficient in comparison with other planting methods that could generate greater productivity by strengthening agricultural practices, planting systems and management of the production system in general.

Purpose: The main objective of the study was to evaluate the productivity of the pea crop (*Pisum sativum L.*) in the municipality of Aquitania, under two sowing systems;

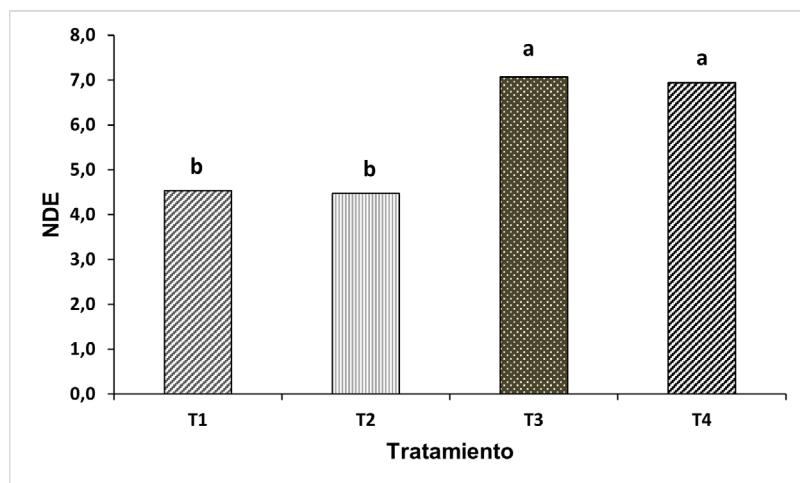
traditional sowing system and trellising system. It was also necessary to apply clean management techniques common in the area and based on sustainable agricultural practices in comparison with a chemical management of the crop where the use of fertilizers, herbicides, insecticides, and fungicides common in influence of the study was encouraged.

Methodology: The methodology used in the study is based on a completely randomized experimental design (DCA) with twelve experimental units corresponding to four treatments and three repetitions, where productivity parameters such as number of days to germination, flowering, fruit set and harvest were evaluated, as well as number of pods per plant and number of grains per pods.

Results and conclusions: As a result of the research, it was found that in treatments 3 and 4 that developed the planting system under tutorship, there were better results in terms of productivity with respect to the traditional planting system.

Keywords: chemical management, clean production, effectiveness, with tutored

RESUMEN GRÁFICO



Número de días a emergencia

Fuente: autores.

Nota. El número de días de emergencia es menor en T1 y T2 a diferencia de T3 y T4.

Los resultados obtenidos muestran que la emergencia del 70% de la superficie sembrada ocurrió entre los días 4 y 7 para ambos sistemas, tanto tutorado como tradicional. El promedio general de emergencia fue de 11 días, siendo los tratamientos T1

y T2 los que presentaron un menor tiempo de emergencia, en comparación con los tratamientos T3 y T4, que correspondieron a los sistemas tutorados. En estos últimos, la semilla tardó más días en brotar debido a factores como la profundidad de siembra, la temperatura, la humedad y la luz, entre otros.

1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Aquitania, especialmente la Región Sur, vereda de Mombita, se ha caracterizado por el desarrollo de actividades agrícolas, con especial énfasis en cultivos de arveja obtenidos con la aplicación de prácticas ancestrales, como la siembra al voleo y el manejo libre de químicos. Dichas prácticas sirvieron para la subsistencia y alimentación familiar de sus habitantes, sin

embargo, con el pasar del tiempo, estas han sido abandonadas debido a que las producciones no ofrecen los mejores resultados, a pesar de las condiciones favorables de la zona. Esta situación ha hecho que se disminuya el área cultivada de esta importante leguminosa, incrementando las áreas destinadas para ganadería intensiva (Alcaldía de Aquitania, 2020).

El cultivo de la arveja en Colombia es considerado de importancia económica teniendo en cuenta que más de 260.000 productores dependen de él, pues genera alrededor de 2,3 millones de jornales y 15.000 empleos directos, concentrando su producción en 11 de los 32 departamentos, especialmente en el altiplano Cundiboyacense y en los departamentos de Cundinamarca, Nariño y Tolima, entre los 2.200 y 3.000 m.s.n.m. (Peñaranda y Molina, 2011).

Asimismo, el cultivo de arveja en Colombia se reconoce como una actividad potencialmente rentable, aunque requiere una inversión inicial considerable. Aun así, enfrenta desafíos significativos, como la volatilidad de los precios en el mercado, la susceptibilidad a problemas fitosanitarios y las altas expectativas del consumidor, quien demanda productos libres de daños causados por enfermedades o plagas. Estos desafíos representan un gran reto para los productores, quienes muchas veces recurren al

uso de agroquímicos como solución para resolver estas situaciones. No obstante, el uso indebido de estos productos es común y puede tener graves consecuencias para los productores, los consumidores y el medio ambiente. (Castillo et al., 2014).

Por lo tanto, este estudio se propone llenar ese vacío de conocimiento al evaluar la productividad del cultivo de arvejas en el departamento, especialmente en el municipio de Aquitania, bajo diferentes condiciones de siembra y manejo agrícola. Al abordar estas interrogantes esperamos proporcionar información relevante que pueda guiar a los agricultores locales y a las autoridades en la toma de decisiones para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la agricultura en la región. De acuerdo con esto y con miras a identificar una estrategia de producción ajustada a las condiciones de la zona se desarrolló la evaluación de dos métodos de siembra de arveja (*Pisum sativum L*) de uso común en la zona.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de este proyecto se encuentra enmarcado en el establecimiento de una fase de campo a partir de la cual se evaluaron variables de calidad y desarrollo de un cultivar de arveja, aplicada en la vereda de Mombita del municipio de Aquitania, que se encuentra a una altitud de 3,030 metros sobre el nivel del mar. La investigación contempló dos sistemas de siembra: sistema tradicional (al voleo) y sistema de siembra con tutorado, manejados a través de prácticas de agricultura limpia y agricultura con control químico. Para el cumplimiento de lo mencionado fue necesario el desarro-

llo de un diseño completamente aleatorizado o DCA con cuatro tratamientos y tres repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales, con el fin de disminuir el error experimental. Las variables estudiadas fueron: días a emergencia, número de días a hojas verdaderas, número de días a floración número de días a cuajado, número de días a cosecha, entre otras; al final del proceso se encontró que los tratamientos que mejores resultados ofrecieron fueron los sistemas tutorados con manejo limpio y manejo químico. Cada unidad experimental estuvo conformada por una parcela de

25 m² con disponibilidad de agua, ya que se aprovecharon los dos períodos de lluvia en abril y noviembre, correspondientes al comportamiento bimodal de la precipitación en la zona, donde llueve entre 800 y 1200 mm/año, libre de agentes externos que pudieran afectar el desarrollo del proyecto.

Los tratamientos sometidos a estudio fueron: T1: Sistema de siembra tradicional con manejo Limpio; T2: Sistema de siembra tradicional con manejo químico; T3: Sistema de siembra con tutorado y manejo limpio; T4: Sistema de siembra con tutorado y manejo químico.

A partir de esto fue posible evaluar las variables: número de días a emergencia NDE, número de días a hojas verdaderas NDHV, número de días a Floración NDF, número de días a cuajado NDC, número de vainas por planta NVP, número de granos por vaina NGV, número de días a cosecha NDC y altura de la planta a cosecha APC.

Número de días a emergencia NDE

Mide el tiempo que transcurrió entre el día de la siembra y el día que emerge la planta. En condiciones adecuadas de temperatura y de humedad la semilla presenta absorción rápida de agua por la testa y por el micrópilo, llegando a los cotiledones y al embrión, produciéndose el hinchamiento de la semilla al doble de su volumen en 24 horas. La radícula se abre paso entre los cotiledones y luego la plúmula avanza en su crecimiento, permitiendo que se produzca la emergencia hasta el segundo día. Acto seguido, comienza un proceso de gran actividad para posteriormente germinar, esta inicia al cuarto día de la siembra donde aparecen el hipocótilo y la radícula, el primero hacia la superficie del suelo y el otro en sentido contrario (Coral et al., 2021).

Número de días a hojas verdaderas NDHV

Una vez que ocurre la emergencia, la plúmula da paso al primer par de hojas verdaderas, estas se presentan entre el día 10 o 15 después de la siembra, las cuales en primera instancia aparecen totalmente plegadas. A partir de ese momento y bajo las hojas verdaderas, se hace visible el Epicotilo, estructura que lleva consigo dos hojas rudimentarias llamadas brácteas trífidas. Los cotiledones, debido a la germinación hipogea que presenta la especie, permanecen bajo el suelo manteniendo en un principio sus características de forma y tamaño; posteriormente, a partir del estado de primera hoja verdadera, los cotiledones van suministrando nutrientes a las plántulas para su crecimiento (Fenalce, 2010).

Número de días a floración NDF

Se contaron los días transcurridos desde la siembra hasta cuando se observó en cada parcela el 50 % de plantas con al menos una flor. La floración comienza entre 25 y 30 días después de la siembra en variedades tempranas y entre 40 y 45 días en las variedades de arvejas destinadas al consumo fresco. Los botones florales se desarrollan rodeados por las hojas superiores, la fecundación ocurre poco antes de que las flores se abran.

Número de días a cuajado NDC

Este proceso inicia a los ocho o diez días de aparecer las flores. Una vez que ocurre el proceso de fecundación, los pétalos se vuelven al ovario fecundado, a continuación, se marchitan y se desprenden, dejando en evidencia una vaina pequeña que porta rudimentos del estílo en su ápice (Villareal, 2006). Los granos que durante los primeros días crecen muy lentamente, entran pronto en una fase de rápido crecimiento, el cual se manifiesta mediante un abultamiento de las

vainas; este se va haciendo cada vez mayor, producto del crecimiento progresivo de los granos.

Número de vainas por planta NVP

Para la toma de datos de esta variable fue necesario seleccionar 5 plantas al azar por cada parcela y tratamiento, a dichas plantas se les asignó un número de 1 a 5 con el fin de evaluar y tener control siempre de las mismas plantas a el fin de no alterar los resultados.

Numero de granos por vaina NGV

Está variable se tomó a partir del conteo de cada una de las vainas obtenidas de plantas seleccionadas en cada tratamiento.

Número de días a cosecha NDC

La cosecha se realizó a los 120 días después de la siembra de forma manual cuando las vainas alcanzaron el tamaño típico (madurez verde), arvejas totalmente formadas. Morales y Villamizar (2020) y Casanova et

al., (2012), afirman que el período vegetativo en las especies cultivadas está altamente influenciado por la constitución genética de las plantas, existiendo genotipos precoz y tardíos, característica importante para la selección de un material o semilla. Así mismo, las variables como precipitación y temperatura pueden llegar a alterar la disminución del ciclo de cultivo, que se puede dar por acumulación de grados día.

Altura de la planta a cosecha APC

Suelen alcanzar una altura promedio de entre 60 a 90 centímetros (aproximadamente 2 a 3 pies) (Morales y Villamizar, 2020).

Análisis Estadísticos

Para el desarrollo del estudio se requirió de la aplicación de un análisis de varianza ANOVA, seguido por la comparación de medias según Duncan, mediante la diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). El análisis de varianza (ANOVA) se desarrolló en el programa R Core Team (2020).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de días a hojas verdaderas (NDHV)

La aparición de las hojas verdaderas ocurrió entre los 9 y 12 días después de la siembra. En los tratamientos T1 y T2, pertenecientes al sistema tradicional, las primeras hojas verdaderas emergieron, siendo el tratamiento T2, con manejo químico, el que redujo el

tiempo hasta la aparición de estas hojas. Al someter los resultados a la prueba de Duncan y al análisis de varianza, se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos T1, T2 y T3, T4. Como se muestra en la Figura 1, los tratamientos T1 y T2 presentan un comportamiento similar, en contraste con los tratamientos T3 y T4.

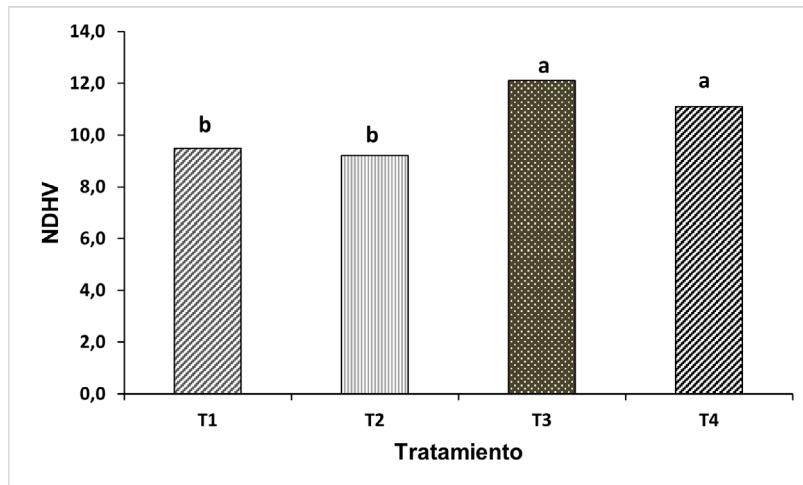


FIGURA 1. Número de días a hojas verdaderas

Nota. El promedio de número de días a hojas verdaderas es menor en T1 (9,5) y T2 (9,2), y son más días T3 (12,1) y T4 (11,1)

Fuente: autores.

Número de días a floración (NDF)

Esta variable se determinó cuando se presentó más del 50% de florescencia en el total del tratamiento. Se registraron los datos de las plantas que se seleccionaron y se les asignó un número de 1 a 5 con el fin de tener un control siempre de las mismas plantas, una vez registrados los datos se sometieron al análisis de varianza ($p = 0,345$), si es ma-

yor de 0,05, no hay diferencias significativas. Los tratamientos del menor al mayor NDF son: T1 (42,6), T3 (43,5), T4 (43,5), T2 (43,6) (Figura 2).

El ensayo del tratamiento (T1) fue el que alcanzó floración a menor número de días; sin embargo, al someter los resultados a la prueba de Duncan no hay diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, como muestra la Figura 2.

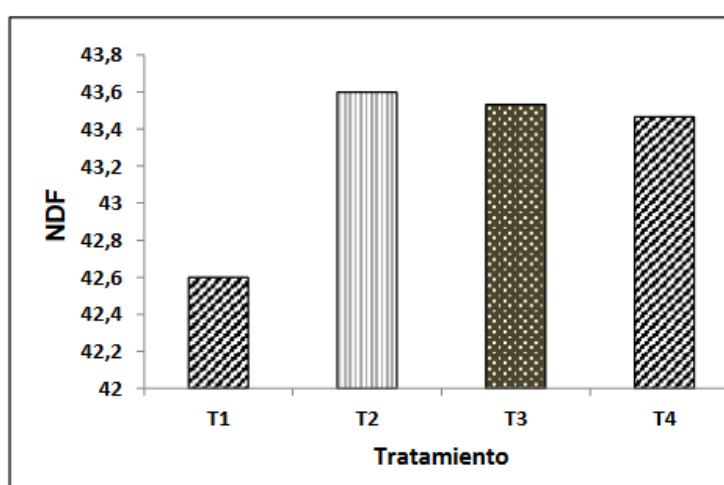


FIGURA 2. Número de días a floración

Nota. El promedio de número de días a floración es menor en T1 y mayor en T2, T3 y T4.

Fuente: autores.

La floración se da al comienzo de los 19 a 29 días de introducir la semilla en las variedades precoces, a los 39 a 46 días en las variedades de arvejas para consumo en tierno, que viene siendo el promedio que arrojó el estudio de investigación, ya que está en los días 42.6 y 43.6. Boerger (1973) considera que “las abejas al posarse sobre la quilla para introducir la trompa en la corola ejercen presión sobre esta, ocasionando la liberación de la columna estaminal formada por los estambres y el estigma, que queda apoyada contra el estandarte”, lo que sin duda sería un aporte importante a los procesos de fecundación.

Número de días a cuajado (NDC)

Para el análisis de esta variable se tuvo en cuenta el tiempo que transcurrió desde que se presentó la florescencia y la presencia de vainas, es a partir de esta etapa que se toman los resultados, donde los granos, que durante los primeros días crecen muy lentamente, entran muy pronto en una fase de

rápido crecimiento, que se manifiesta en el abultamiento de las vainas, este se va haciendo cada vez mayor, producto del crecimiento progresivo de los granos. La cavidad de las vainas se llena prácticamente en forma completa cuando los granos alcanzan el estado de madurez para consumo en verde (Vicente, 2003; Anchivilca, 2018).

Al analizar la totalidad de los tratamientos se concluye que el tratamiento que presentó menor días a cuajado fue T1 y el que más días transcurrieron para llenado fue el tratamiento T3, sistema tutorado con manejo limpio, con un promedio de 54,8 días a diferencia del T1 que solo requirió de 51,3 días; es decir, la combinación de estos factores puede explicar por qué el tratamiento T1 (con menor número de días a cuajado) y el tratamiento T3 (con mayor número de días a llenado) muestran diferencias significativas en el tiempo requerido para el desarrollo de frutos. El manejo limpio y el sistema tutorado optimizan las condiciones de crecimiento, reduciendo el tiempo necesario para que las plantas alcancen las etapas clave de desarrollo (Figura 3).

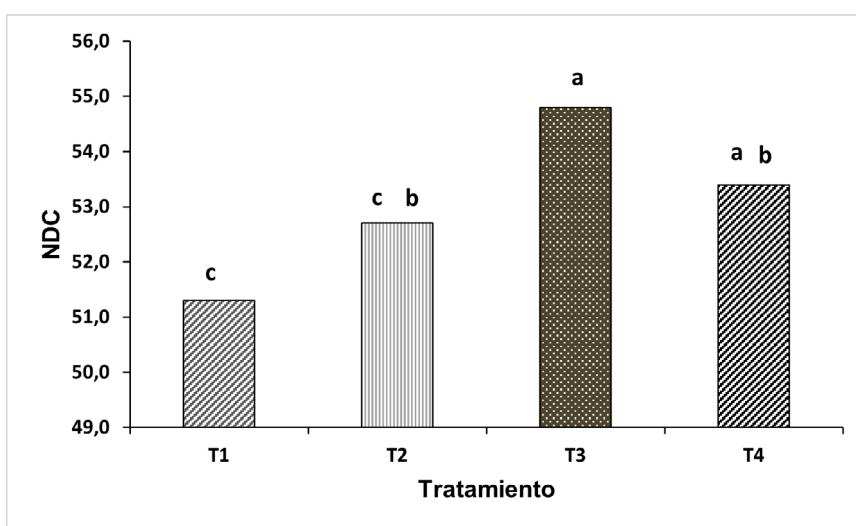


FIGURA 3. Número de días a cuajado

Nota. Los promedios de número de días han cuajado es más bajos en T1 (51,3) y T2 (52,7), y más altos en T4 (53,4) y T3 (54,8).

Fuente: autores.

Número de vainas por plantas (NVP)

Esta variable se determinó llevando un conteo del número de vainas por cada planta seleccionadas en cada tratamiento, donde los resultados fueron notorios en los diferentes sistemas de siembra y manejos; di-

chos resultados se sometieron al análisis de varianza, donde el valor de p del análisis de varianza ($p = 4,99e-04$) es menor de 0,05, es decir, sí hay diferencias significativas. Se aplicó la prueba de Duncan donde se formaron tres grupos estadísticos: Grupo a: T3 (9,7); grupo b: T4 (7,1); grupo c: T2 (3,6), T1 (3,4) (Figura 4).

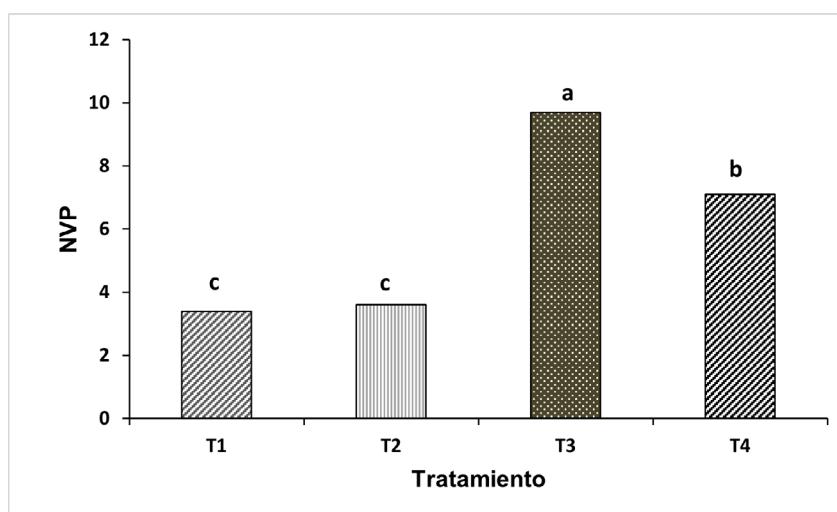


FIGURA 4. Número de vainas por planta y tratamiento

Nota. Los promedios de número de vainas por planta son menores en los tratamientos T1 (3,4) y T2(3,6), y es mayor el número de vainas en los tratamientos T4 (7,1) y T3 (9,7).

Fuente: autores.

Al revisar el comportamiento de esta variable encontramos que, de acuerdo con el análisis de varianza, existen diferencias significativas entre los tratamientos con tutorado y los tratamientos cuya siembra se realizó bajo sistema tradicional.

Es importante resaltar que, a diferencia de los demás tratamientos, el tratamiento T3 obtuvo el mayor promedio de altura y alta prolificidad en la producción de vainas. Esto es posible ya que, si se tiene en cuenta que a mayor altura de planta se puede aumentar la presencia de nudos reproductivos y, en consecuencia, el número de vainas por planta. Lo anterior confirma los resultados

obtenidos por Kurmar y Roopa (2014) y Esmaeil et al. (2015), quienes encontraron que la altura de la planta está positivamente correlacionada con el número de vainas por planta.

Por otra parte, Morris (2004) evaluó líneas de siembra con guisantes comerciales y su relación con rendimientos, determinando que al disminuirse la densidad de siembra aumentan el número de nodos productivos y vainas.

De igual forma, al haber mayor densidad en el sistema tradicional, hay mayor competencia principalmente por el agua y nutrientes (Azpiricueta et al., 2012).

Número de días a cosecha NDC

Una vez que los tratamientos completan su estado de llenado y están listos para ser cosechados en verde, se toman los resultados del tiempo que transcurrió desde el día que se realizó la siembra hasta el día que fue cosechado, lo cual se realizó para todos los tratamientos y en las plantas seleccionadas. Los anteriores valores se analizaron con el valor de p del análisis de varianza ($p = 7,4e-07$), que es menor de 0,05, es decir, sí hay

diferencias significativas. Se aplica la prueba de Duncan donde se forman tres grupos estadísticos: grupo a: T3 (92,4); grupo b: T4 (87,3); grupo c: T1 (73,4), T2 (72,6). Como se observa en la Figura 5 el tratamiento que más días transcurrió desde la siembra hasta que fue cosechado fue el T3, sistema de siembra tutorado manejo limpio, seguido por el tratamiento T4 sistema tutorado manejo químico, para el sistema de siembra tradicional tanto manejo limpio como químico no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

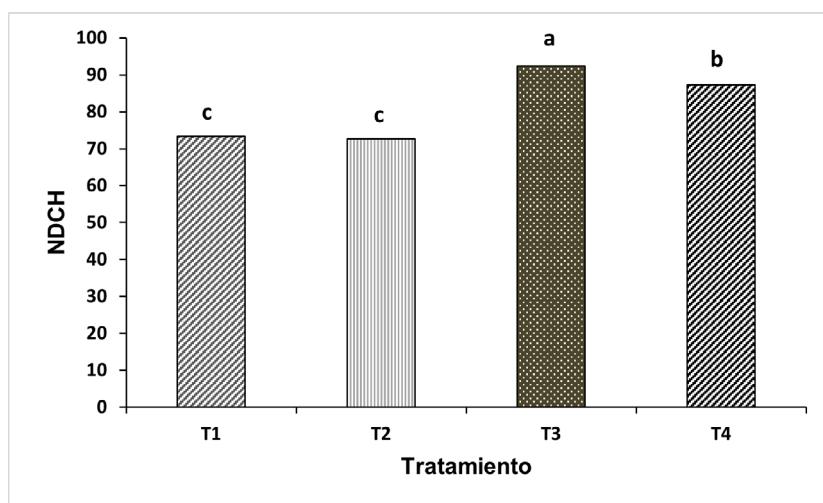


FIGURA 5. Número de días a cosecha

Nota. Los promedios de número de días a cosecha son menores en los tratamientos T1 (73,4) y T2 (72,6), y, más altos en T4 (87,3) y T3 (92,4).

Fuente: autores.

Número de granos por vaina NGV

Se cosechó la producción de las plantas seleccionadas en cada tratamiento y se contó el número de granos por vaina para analizar la productividad de cada sistema de siembra, para lo cual fue necesario someter los resultados al análisis de varianza y se observó que no hubo diferencias significa-

tivas entre el T3 con respecto a los demás tratamientos, ya que el valor de varianza ($p = 0,178$) es mayor de 0,05, es decir, no hay diferencias significativas. Los tratamientos del menor al mayor NGV son: T1 (4,64), T4 (4,85), T2 (4,88), T3 (5,16) esto obedece a que la combinación de estos factores puede explicar por qué T1 tiene el menor rendimiento a pesar de no haber diferencias significativas según el análisis estadístico. Esto

subraya la importancia de considerar tanto las diferencias estadísticas como las prácticas agronómicas al evaluar los tratamientos; además, puede ser útil realizar estudios

adicionales con un mayor número de repeticiones y un mejor control de las variables experimentales para obtener resultados más concluyentes (Figura 6).

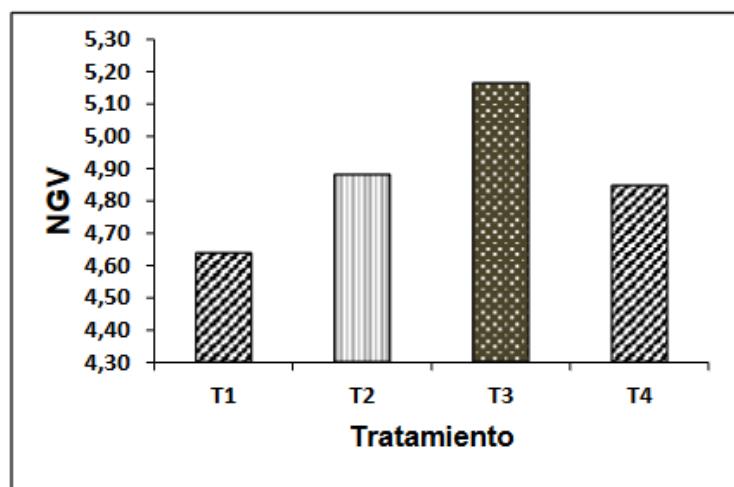


FIGURA 6. Número de granos por vaina.

Nota. El promedio de número de granos por vaina es menor en T1 y mayor en T3, T2 y T4.

Aspecto muy importante si se tiene en cuenta que durante todo el ensayo T1 demostró mayor precocidad no está garantizando no es garantía de productividad.

Fuente: autores.

Altura de la planta a cosecha APC

Para esta variable se tomaron medidas de desarrollo de las plantas seleccionadas en cada tratamiento y en cada una de las etapas reproductivas hasta el final cuando se dio la cosecha, los resultados de las medidas de desarrollo en torno a la altura se sometieron al análisis de varianza donde el valor de p fue $p = 0,0349$, que es menor de 0,05; es decir, sí hay diferencias significativas. Se aplicó la prueba de Duncan donde se forman dos grupos estadísticos, grupo a: T3 (140,9), T4 (126,4), grupo b: T4 (126,4), T2 (114,7), T1

(109). Asimismo, el sistema de siembra que presentó mayor altura fue el tratamiento con tutorado manejo limpio a diferencia de los demás tratamientos y, en especial, con el sistema al voleo (Figura 7), pudo haber ocurrido dado que presentó mejor capacidad de absorción y de translocación de nutrientes en las plantas, lo que se reflejó en mayor altura. Al respecto, Moreno (2009) y Bénézit et al. (2017) indican que “las plantas con estrés hídrico presentan alteraciones en procesos fisiológicos y metabólicos, como reducción en las tasas de fotosíntesis, disminución de la síntesis de proteínas totales y de las tasas de crecimiento”.

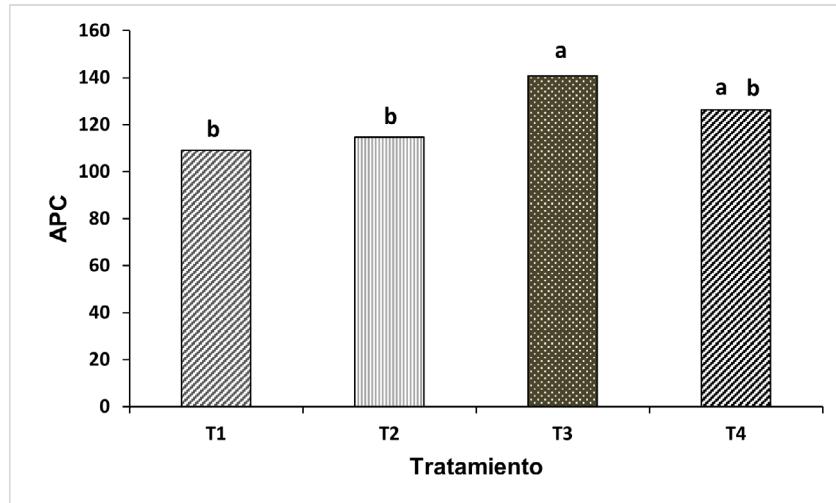


FIGURA 7. Altura de la planta a cosecha

Nota. El promedio de altura de planta es bajo en T1 (109) y T2 (114,7), y, es alto en T3 (140,9) y T4 (126,4).

Fuente: autores.

El tratamiento que mostró mayor altura con respecto a los demás tratamientos fue el T3, mientras los tratamientos T1 y T2 manejo tradicional fueron de porte más bajo. Esto es posible si se tiene en cuenta que, a mayor altura de planta, se puede aumentar la presencia de nudos reproductivos y, en conse-

cuencia, el número de vainas por planta. Lo anterior confirma los resultados de Kurmar y Roopa (2014) y Esmail et al. (2015), quienes encontraron que la altura de la planta está positivamente correlacionada con el número de vainas por planta.

4. CONCLUSIONES

Los tratamientos con mayor precocidad en lo que refiere a días a emergencia se presentaron en el tratamiento sistema producción tradicional manejo limpio y químico, a diferencia del sistema producción con tutorado que se presentaron después del sexto día, esto puede ocurrir por diversos factores como humedad y profundidad de la semilla entre otros.

El sistema de siembra bajo el método tradicional, tanto con manejo limpio como químico, muestra un menor tiempo en días

para la emergencia, aparición de hojas verdaderas, floración, cuajado y cosecha. Sin embargo, al analizar la productividad, se observa que el número de vainas por planta, el número de granos por vaina y la altura de la planta al momento de la cosecha también son menores. Esto indica que este sistema no es el más recomendable para implementar en la Vereda de Mombita

El tratamiento T3, correspondiente al sistema de producción con tutorado y manejo limpio, mostró un mayor número de días

para alcanzar las siguientes etapas: emergencia, aparición de hojas verdaderas y cuajado. No obstante, al analizar la productividad, este sistema demostró un mayor número de vainas por planta, un mayor número de granos por vaina y una mayor altura de la planta al momento de la cosecha, en comparación con los demás tratamientos. Por lo tanto, se concluye que este sistema de siembra y manejo es el más adecuado para implementar en la Región Sur

El tratamiento Sistema de producción con tutorado con manejo químico fue cercano al valor promedio de los demás tratamientos, en las variables evaluadas: días a emergencia, a hojas verdaderas, a floración, vainas por planta, número de días a cosecha y altura planta a cosecha, lo que significa que en el sistema tutorado, ya sea manejo químico como limpio, el mejor resultado dio en producción.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Edelmira Alarcón Álvarez: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. Yenny Maritza Camacho Torres: investiga-

ción, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición. Marionel Alarcón Urrutia: logística, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Abierta y a Distancia-UNAD, por abrirnos sus puertas y facilitarnos la oportunidad de profesionalizarnos, a todos y cada uno de los docentes de esta prestigiosa institución educativa, que compartieron y transmitieron sus

conocimientos y virtudes que serán el eje principal en el desenvolvimiento de nuestra carrera; en especial a la Magíster en Ciencias Agrarias, Yenny Camacho Torres por el apoyo y asesoría del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

Alcaldía de Aquitania. (2020). *Plan de desarrollo Municipal*. Aquitania Boyacá. <https://aquitaniaboyaca.micolombia->

[digital.gov.co/sites/aquitaniaboyaca/
content/files/000041/2031_acuerdo-
005-plan-de-desarrollo-20162019.pdf](https://digital.gov.co/sites/aquitaniaboyaca/content/files/000041/2031_acuerdo-005-plan-de-desarrollo-20162019.pdf)

Anchivilca, G. (2018). *Abonamiento orgánico y fertilización npk en arveja verde (Pisum sativum L.) cv. rondo, bajo riego por goteo en Tupicocha, Huarochirí* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. Lima Perú. [anchivilca-rojas-guiller-henry.pdf](https://lamolina.edu.pe/anchivilca-rojas-guiller-henry.pdf) (lamolina.edu.pe)

Azpiricueta, M., Irigoyen, Y., Lasa, B., Muro, J. y Aparicio-Tejo, P. (2012). Rendimiento y calidad del guisante dulce en el Valle del Ebro: fecha de siembra y densidad de semillas. *Scientia Agricola*, 69, 320-326. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000500006>

Bénézit, M., Biarnès, V. y Jeuffroy, M. (2017). Impacto del clima y las enfermedades en la producción de guisantes: ¿qué perspectivas tiene el cambio climático? *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 24(1), 1-9. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016055>

Casanova, E., Solarte, J. y Checa, O. (2012). Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum L.*). *Rev. Ciencias Agrícolas*, 29(2), 129-140.

Castillo, E., Siles, ., Ríos, R. y Gabriel, J. (2014). Herencia del número de vainas por nudo y su relación con características afines en arveja (*Pisum sativum L.*). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 2(1), 2-14. <https://doi.org/10.36610/jjsab.2014.020100002>

Coral, O., Rodríguez, D., Eraso, M. y Figueiroa, J. (2021). la arveja. Investigación y Tecnología en el Sur de Colombia. Editorial Universidad de Nariño.

Esmail, S., Abdulkhaleq, D., Hama, T. y Karrem, O. (2015). Análisis de correlación y coeficiente de trayectoria en siete ge-

notipos de guisantes de campo (*Pisum sativum L.*) creados mediante análisis de medio dialélico en la región de sulaimani para la generación f2. *Vegetal, Animal y Ambiental Sc.* 5(4), 93-97.

Morales, Y. y Villamizar, L. (2020). *Evaluación de tres diferentes densidades de siembra sobre el rendimiento de arveja (Pisum sativum L.) variedad Rabo de Gallo, en la vereda San José del municipio de Mutiscua, Norte de Santander* [Trabajo de Grado Pregrado]. Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/2233>

Moreno, F. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11131/11799>

Morris, S. (2004). *Evaluación de nuevas líneas de guisantes de alto rendimiento Etapa 1*. Instituto de Investigaciones Agrícolas de Tasmania, Universidad de Tasmania.

Peñaranda, G. y Molina, D. (2011). La producción de arveja (*Pisum sativum L.*) en la vereda Monteادentro, provincia de Pamplona, Norte de Santander. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 2(1).

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Vicente, R. (2003). Evaluación agronómica de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en diferentes épocas y densidades de siembra en la provincia Caranavi. pp. 31-58.

Villareal, F. (2006). *Determinación del efecto en la productividad de cinco dosis del bio-estimulante “Florone” en tres variedades de arveja (Pisum sativum) aplicado en dos épocas*. *San José-Carchi* [Tesis de grado]. Ingeniería Agronómica. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas.



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.



Fecha recibido: 08-04-2024

Fecha aceptado: 20-06-2024

Revista de Investigación Formativa
Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA.

ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DEL *Azotobacter chroococcum* EN CULTIVO DE MAÍZ HIDROPÓNICO

ANALYSIS OF THE ACTIVITY OF *Azotobacter chroococcum* IN HYDROPONIC CORN CULTIVATION

Ingris Yohana Hernández Martínez*

Médica Veterinaria y Zootecnia, MsC.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UDR Aguachica

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5059-2356> - ingris.hernandez@unad.edu.co

Germán Orozco González

Ingeniero Agrónomo, Esp.

Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1814-5150> - email. germanorozco@unicesar.edu.co

Margarita del Rosario Salazar Sánchez

Bióloga, MsC., PhD. Universidad del Cauca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3636-2922> - mdsalazar@unicauca.edu.co

Yaneth De Jesús Galindo Mora

Médica Veterinaria y Zootecnia Esp.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, CCAV Sahagún

<https://orcid.org/0000-0002-6419-6976> - yaneth.galindo@unad.edu.co

Nayibe Tatiana Sánchez-Álvarez

Bacterióloga, MsC, PhD

Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica

<https://orcid.org/0000-0001-8517-8331> - ntsanchez@unicesar.edu.co

Citación: Hernández, I., Orozco, G., Salazar, M., Galindo Y. y Sánchez-Álvarez, N. (2024).

Análisis de la actividad del *Azotobacter chroococcum* en cultivo de maíz hidropónico.

Agricolae & Habitat, 7(2), 55 – 66.

<https://doi.org/10.22490/26653176.8029>

RESUMEN

Contextualización: uno de los problemas más preocupantes en la actualidad a nivel mundial es la escasez de alimentos. Este desafío se ve agravado por factores como la baja productividad de las tierras, los cambios ambientales, las migraciones campesinas, el abandono de terrenos, la falta de oportunidades y la insuficiencia de agua para riego; dichos problemas han impulsado a los productores a buscar e implementar métodos tecnológicos para satisfacer las necesidades alimenticias y nutricionales de sus ganados, entre estas soluciones destaca la producción de forraje verde hidropónico (FVH).

Vacío de conocimiento: tratamiento con la bacteria *Azotobacter chroococcum* favorable para el crecimiento del maíz en forma hidropónica.

Propósito: un manejo adecuado del forraje verde hidropónico permitirá a los productores disponer de forraje fresco y de alto valor nutricional durante todo el año, con una baja inversión para construir las estructuras, instalar las bandejas y el sistema de riego es de bajo costo. Además, se pueden utilizar materiales provenientes de la misma finca para la elaboración y montaje del cultivo de FVH, lo que contribuirá a reducir los costos

de producción. Por ello, es esencial contar con soluciones nutritivas adecuadas, acceso a agua cercana y semillas forrajeras viables, así como mantener un control riguroso de los parámetros ambientales como la luz, la temperatura y la humedad para asegurar el éxito de la producción de FVH.

Metodología: se llevó a cabo una investigación cuantitativa longitudinal para evaluar el proceso de germinación y cuantificar el tamaño y peso de las plantas bajo diferentes tratamientos. Los tratamientos utilizados fueron: T1 (100% bacterias) T2 (50% bacterias y 50% fertilizante) y T3 (100% fertilizante). La evaluación se realizó durante un periodo de 9 días incluyendo análisis bromatológico.

Resultados y conclusiones: no se encontraron diferencias estadísticas significativas en cuanto al tamaño y peso de las plantas entre los diferentes tratamientos; sin embargo, se observó que la presencia de la bacteria *Azotobacter chroococcum* puede reemplazar parcialmente la fertilización química sin afectar negativamente el contenido de grasa de las plantas.

Palabras clave: *Azotobacter*, abonos, cultivo, maíz

ABSTRACT

Contextualization: Currently, one of the most worrying problems worldwide is food shortage. This challenge is aggravated by factors such as low land productivity, environmental changes, peasant migrations, land abandonment, lack of opportunities and insufficient water for irrigation. These problems have driven producers to seek and implement technological methods to meet the food and nutritional needs of their livestock. Among these solutions, the production of hydroponic green fodder (F VH) stands out.

Knowledge gap: Treatment with the *Azotobacter Chroococcum* bacteria is favorable for the growth of corn in hydroponic form.

Purpose: Proper management of hydroponic green fodder will allow producers to have fresh fodder with high nutritional value throughout the year. The investment required to build the structures, install the trays and the irrigation system is low cost. In addition, materials from the same farm can be used for the production and assembly of the F VH crop, which will contribute to reducing production costs. It is essential

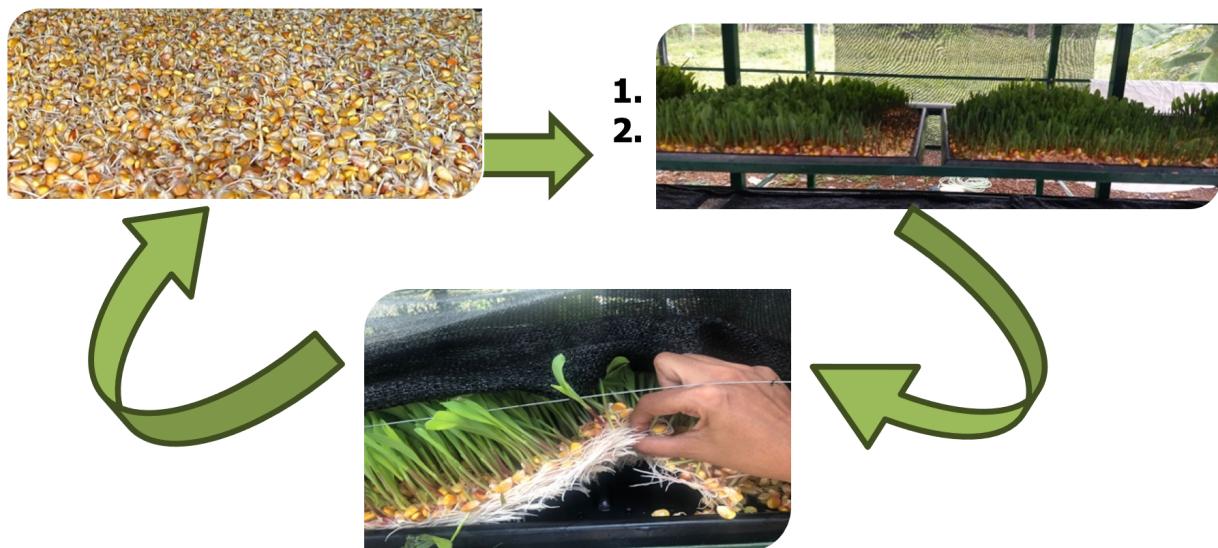
to have adequate nutrient solutions, access to nearby water and viable forage seeds, as well as maintaining rigorous control of environmental parameters such as light, temperature and humidity to ensure the success of F VH production.

Methodology: Longitudinal quantitative research was carried out to evaluate the germination process and quantify the size and weight of the plants under different treatments. The treatments used were: T1 (100% bacteria) T2 (50% bacteria and 50% fertilizer) and T3 (100% fertilizer). The evaluation was carried out over a period of 9 days. Including bromatological analysis.

Results and conclusions: No significant statistical differences were found in terms of plant size and weight between the different treatments. However, it was observed that the presence of the bacterium *Azotobacter chroococcum* can partially replace chemical fertilization without negatively affecting the fat content of plants.

Keywords: *Azotobacter*, Hydroponics, Fertilizer application, Maize.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

En el suelo se encuentra una amplia población microbiana que favorece el desarrollo vegetal, estos microorganismos realizan funciones cruciales como la fijación del nitrógeno atmosférico, la solubilización del fósforo insoluble, la antibiosis y la estimulación del crecimiento y desarrollo de las plantas, entre otras (Khaziev *et al.*, 2021). Estas funciones son de gran importancia para el normal funcionamiento y aumento de la productividad de especies cultivables que representan beneficios económicos significativos (Kawaka, 2022).

Una de las bacterias identificadas como fijadoras de nitrógeno en agricultura es *Azotobacter chroococcum*, que se desarrolla de

forma natural en el suelo y actúa como un biofertilizante ecológico, vive libremente en el suelo, sin necesidad de la planta para su reproducción y puede proporcionar hasta el 50 % del nitrógeno requerido por las plantas a través de la fijación asociativa del nitrógeno atmosférico (Song *et al.*, 2020); además, *Azotobacter chroococcum* suministra sustancias activas que estimulan el desarrollo vegetal. Cuando se usa en concentraciones adecuadas, puede sustituir al nitrógeno químico (como amoniaco o urea), manteniendo la productividad a un menor costo (Biello *et al.*, 2023).

El uso de estos microorganismos constituye una de las alternativas nutricionales más

aceptadas en la agricultura mundial, desempeñando un papel importante no solo en modelos de agricultura sostenible, sino también en sistemas agrícolas de alta productividad, debido a su bajo costo de producción y la posibilidad de fabricar estos productos a partir de recursos locales renovables (Biello *et al.*, 2023).

En la región del Cesar, las condiciones climáticas dificultan la producción de forrajes de buena calidad para una nutrición animal adecuada (Roncallo *et al.*, 2020); por esta razón, es necesario recurrir a la suplementación para cubrir las necesidades nutricionales que no satisfacen los pastos. Se requiere una alimentación cuya producción no tenga una alta concentración química ni

cause daño al medio ambiente (Nutrición y alimentación animal, s. f.), por lo que es esencial buscar nuevas alternativas para la suplementación. Una opción prometedora es el uso de Forrajes Verdes Hidropónicos (FVH), que se obtienen a partir de la germinación de granos de cereales o leguminosas (como maíz, arroz, cebada, sorgo y alfalfa) durante un período de 12 a 20 días. A esta edad, la plántula alcanza una altura promedio de 25 centímetros y es consumida en su totalidad (tallo, hojas, restos de semilla y raíz) por los animales (Khaziev *et al.*, 2021). Por tal motivo el objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento de la bacteria *Azotobacter chroococcum* como sustituto de una fuente nitrogenada en maíz

2. MATERIALES Y MÉTODOS

hidropónico, en el contexto de un suplemento alimenticio para el ganado bovino.

Localización: el presente estudio se realizó en una finca aledaña al municipio de Aguachica, departamento del Cesar, el cual se encuentra a una altitud media de 179 msnm, con temperatura promedio de 29°C y precipitación de 800 mm por año (DANE, 2022).

Diseño experimental: se llevó a cabo un experimento factorial 3x3, en el cual se evaluaron tres tratamientos combinados con tres tipos de aplicación del inoculante: T1 (100% bacterias) T2 (50% bacterias y 50% fertilizante) y T3 (100% fertilizante), con 4 repeticiones cada uno.

Material vegetal: se utilizaron granos de semilla de maíz amarillo (*Zea mays*) varie-

dad ICA V 305. En el estudio se emplearon 12 kg de semillas, las cuales se distribuyeron en bandejas plásticas con 500 g de semillas cada una.

Selección de la semilla y siembra: se seleccionaron las semillas y se realizó un lavado con solución de hipoclorito al 0,5% durante 30 segundos para desinfectarlas; luego, se enjuagaron con agua para eliminar los residuos y se dejaron en remojo durante 12 horas; posteriormente, se airearon durante 2 horas para asegurar suficiente oxígeno y humedad. Este proceso se repitió dos veces para realizar una pre-germinación, según lo planteado por Beltrano y Jiménez (2015).

Germinación: tras completar el período de pre-germinación, las semillas se trasla-

daron y se cubrieron con papel periódico húmedo para proporcionar un ambiente oscuro durante 3 días, lo que favoreció la germinación.

Tratamientos: una vez germinadas, las semillas se distribuyeron aleatoriamente en tres tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, como se detalla en la Tabla 1.

■ **TABLA 1.**
Tratamientos

Tratamiento (T)	Cantidad utilizada
T1	100% <i>Azotobacter chroococcum</i>
T2	50% fertilizante 50% <i>Azotobacter chroococcum</i>
T3	100 % fertilizante

Fuente: autores.

Riego y solución nutritiva: el sistema de riego se realizó mediante aspersión, ejecutándose entre 6 y 9 veces al día, con un volumen aproximado de 0,2 L por bandeja para evitar el estrés hídrico. La solución nutritiva se aplicó directamente sobre el follaje de la plántula utilizando atomizadores. La cosecha se llevó a cabo los días 13, 14 y 15, contados a partir del momento en que se colocó la semilla en el agua. Al colocar los granos en las bandejas, se midió la altura de una muestra de 10 plántulas desde la semilla hasta el ápice, así como el rendimien-

to total en kg; además, se realizó un análisis bromatológico para determinar la humedad, ceniza, grasa, fibra cruda y proteína.

Análisis estadístico: en la investigación cuantitativa longitudinal, los valores se presentan como media \pm error estándar de la media (SEM). Los datos se analizaron para determinar la varianza mediante un ANOVA de dos vías con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico PRISM V versión 8.

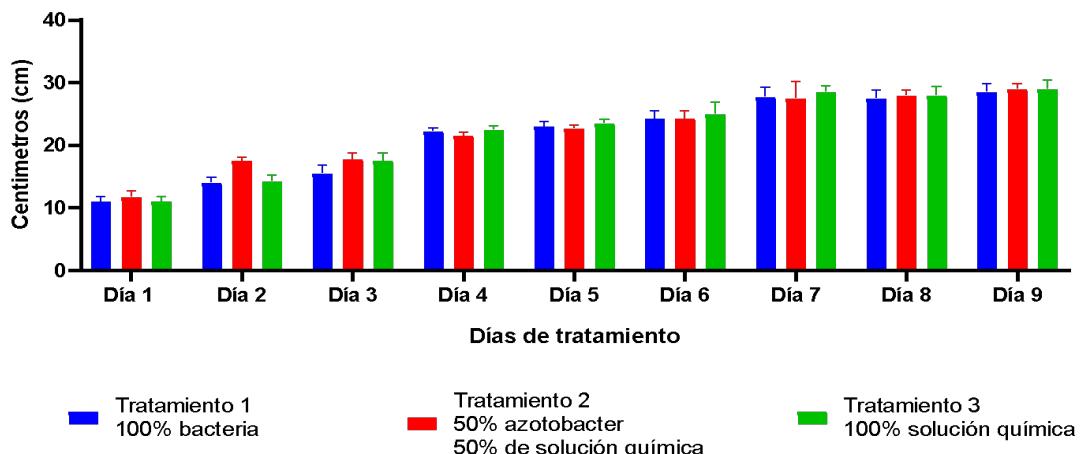
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Longitud plántula

En el presente estudio, no se encontraron diferencias significativas en la longitud de la plántula, con un valor de p de 0,71. Esto

indica que el tratamiento no tiene un efecto relevante sobre el crecimiento de la plántula a lo largo del tiempo, como se muestra en la Figura 1.

FIGURA 1. Crecimiento de la plántula



Fuente: autores.

En diversos cultivos, la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados es común para mejorar el rendimiento, ya que el nitrógeno incrementa aspectos como la altura de las plantas, la relación de conversión y el rendimiento por metro cuadrado (Maldonado-Torres *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2020). El uso de *Azotobacter* como fertilizante biológico ha sido propuesto como una alternativa para reducir la dependencia de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Khatami *et al.*, 2022).

Según Hasan *et al.* (2023), la longitud de las plántulas es un indicador clave del desarrollo inicial de los cultivos y proporciona información valiosa sobre la respuesta de las plantas a los tratamientos aplicados, especialmente en sistemas hidropónicos donde las condiciones de crecimiento se pueden controlar con precisión. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de *Azotobacter chroococcum* y diferentes porcentajes de fertilizantes en el crecimiento de plántulas de maíz amarillo (*Zea mays*) en un sistema hidropónico. Se esperaba la inoculación con *A. chroococcum*, una bacteria fijadora de nitrógeno atmosférico, junto con la adición de fertilizantes

nitrogenados, influenciara positivamente el crecimiento de las plántulas; sin embargo, los resultados de nuestro estudio no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos en términos de longitud de las plántulas ($p = 0,71$). Esta falta de respuesta discernible podría deberse a varios factores interrelacionados (Figura 1)

En primer lugar, la composición del sustrato en sistemas hidropónicos puede afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Balliu *et al.*, 2021). A pesar de emplear técnicas estándar para preparar el sustrato y proporcionar una base adecuada para el crecimiento, es posible que la estructura física del sustrato o su capacidad para retener y liberar nutrientes haya influido en la absorción y asimilación de los nutrientes por parte de las plantas.

Además, la disponibilidad de agua y oxígeno en el sistema de cultivo puede haber desempeñado un papel crucial en el desarrollo de las plántulas (Khaeim *et al.*, 2022). La irrigación adecuada es esencial para mantener la turgencia celular y facilitar la absorción de nutrientes, mientras que la oxigenación del sistema radicular es fundamental para la

respiración y el metabolismo aeróbico de las plantas (Kumar, 2020). Cualquier desequilibrio en estos factores podría haber afectado negativamente el crecimiento y desarrollo de las plántulas, independientemente de los tratamientos aplicados.

Asimismo, la interacción compleja entre los diferentes componentes del sistema de cultivo, incluidos los microorganismos del sustrato, puede haber influido en la respuesta de las plantas a los tratamientos. Aunque se esperaba que la inoculación con *Azotobacter chroococcum* promoviera la fijación biológica de nitrógeno y mejorara la disponibilidad de este nutriente para las plantas, es posible que otros factores bióticos y abióticos hayan modulado la eficacia de esta bacteria como promotor del crecimiento vegetal.

Seguimiento de peso

Se registraron los pesos de las plántulas para cada tratamiento al final del día 9 de crecimiento. Los datos mostraron que el peso no variaba significativamente entre los tratamientos, como se observa en la Figura 2. Cassán *et al.* (2009) realizaron un estudio con maíz hidropónico, utilizando cultivos bacterianos de *A. brasiliense Az39* y *B. japonicum E109* para promover el crecimiento temprano de las plántulas. Encontraron que la inoculación, ya sea individual o combinada, tenía la capacidad de promover la germinación de semillas y el crecimiento temprano en maíz.

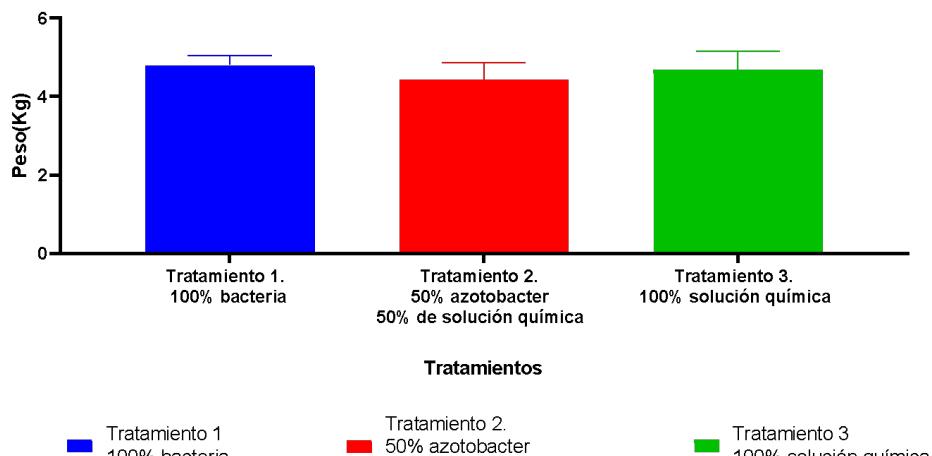
Así, estudios previos han analizado los efectos de la inoculación con *Azotobacter chroococcum* en el crecimiento y desarrollo

de diversos cultivos, tanto en condiciones de campo como en invernadero (Sumbul *et al.*, 2020). Por ejemplo, Hindersah *et al.* (2020) evaluaron el impacto de la inoculación con *A. chroococcum* en el crecimiento y rendimiento del maíz en un ensayo de campo a lo largo de varias temporadas. Sus resultados mostraron un aumento significativo en la altura de las plantas y el rendimiento de los cultivos en comparación con el control no tratado.

En otra investigación, Yang y Kim (2020) examinaron los efectos de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en el crecimiento y la biomasa de los cultivos en sistemas hidropónicos, encontrando que la adición de estos fertilizantes mejoró significativamente el crecimiento de las plantas, especialmente en términos de altura y producción de biomasa. Sin embargo, los resultados de estos estudios pueden variar según las condiciones específicas del suelo, el clima y los métodos de cultivo utilizados. Además, la interacción entre *A. chroococcum*, los fertilizantes y otros factores ambientales puede influir en la respuesta de las plantas a los tratamientos aplicados (Aasfar *et al.*, 2021).

En nuestro estudio, la falta de diferencias significativas en el peso de las plántulas entre los diferentes tratamientos podría deberse a la compleja interacción entre la inoculación con *Azotobacter chroococcum*, la aplicación de fertilizantes y otros factores ambientales. También es posible que la duración limitada del estudio no haya sido suficiente para detectar diferencias significativas en la acumulación de biomasa entre los tratamientos.

FIGURA 2. Pesaje bandejas por tratamiento



Fuente: autores.

Análisis bromatológicos

Los análisis bromatológicos son una herramienta esencial para evaluar la calidad nutricional de los cultivos, proporcionando una visión detallada de su composición química y su potencial valor nutricional. En este estudio, se realizaron análisis de hume-

dad, cenizas, grasa, fibra cruda y proteína en muestras representativas de cada tratamiento, con el objetivo de comprender mejor el impacto de los tratamientos aplicados en la composición nutricional de los cultivos de maíz amarillo (*Zea mays*) (Tabla 2).

TABLA 2.
Análisis bromatológico

Tratamiento (T)	Humedad de 70%	Cenizas a 650%	Grasa	Fibra cruda	Proteína
T1	89,12	9,65	2,12	26,57	11,74
T2	90,85	14,18	3,74	20,94	14,19
T3	88,86	3,89	5,29	20,7	19,42

Fuente: autores.

Los resultados obtenidos revelaron variaciones en la composición nutricional de los cultivos entre los diferentes tratamientos. Específicamente, se observó una tendencia hacia niveles más altos de proteína en los tratamientos que incluían la inoculación con *A. chroococcum*. Este hallazgo sugiere un posible efecto positivo de la inoculación bacteriana en la síntesis de proteínas y el

metabolismo del nitrógeno de las plantas. Abdel Latef *et al.*, (2020) indican que la presencia de *A. chroococcum* puede facilitar la asimilación de nitrógeno por parte de las plantas, lo que podría haber contribuido a un aumento en la síntesis de proteínas y, por ende, a un mayor contenido proteico en los cultivos.

Sin embargo, es importante destacar que estos resultados plantean preguntas importantes sobre la eficacia y el potencial de la inoculación con *A. chroococcum* en sistemas de cultivo hidropónico. Aunque nuestros hallazgos no mostraron diferencias significativas en el crecimiento y el peso de las

plántulas entre los tratamientos, la variabilidad observada en la composición nutricional sugiere que la inoculación bacteriana podría tener efectos sutiles pero significativos en la calidad y el valor nutricional de los productos agrícolas.

4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la investigación, no se encontraron diferencias significativas en la altura de las plantas entre los distintos tratamientos. Por lo tanto, podemos concluir que el uso de la bacteria como sustituto de fuentes de nitrógeno no afecta el crecimiento de las plántulas. Además, *Azotobacter chroococcum* puede actuar de forma individual o en combinación con otra solución química sin perjudicar el desarrollo de la planta. La reducción de fertilizantes químicos nitrogenados en el forraje verde hidropónico también contribuye a minimizar el impacto ambiental.

En cuanto al contenido de grasas, se observó que los resultados del tratamiento 2 son similares a los del tratamiento 3, confirmando que la presencia de la bacteria puede reemplazar parte de la fertilización quí-

mica sin afectar este parámetro. Además, el porcentaje de fibra cruda y de materia grasa no se vio afectado por la utilización de la bacteria en el tratamiento 2, que sustituyó el 50% de los nutrientes de origen químico.

Para comprender completamente los mecanismos subyacentes y maximizar los beneficios potenciales de la inoculación bacteriana en sistemas hidropónicos, se necesitan investigaciones adicionales. Sería útil llevar a cabo estudios a largo plazo para evaluar los efectos de la inoculación bacteriana en la productividad y calidad de los cultivos a lo largo de múltiples ciclos de cultivo. También se requiere un análisis más detallado de los factores que pueden modular la eficacia de la inoculación, como la concentración de bacterias, la frecuencia de aplicación y la interacción con otros componentes del sistema de cultivo.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Ingris Yohana Hernández Martínez y Germán Orozco González: conceptualización, análisis de datos, redacción, revisión y edición. **Margarita del Rosario Salazar**

Sánchez: análisis de datos, redacción, revisión y edición. **Yaneth De Jesús Galindo Mora y Nayibe Tatiana Sánchez-Álvarez:** redacción, revisión y edición.

LITERATURA CITADA

Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., Bennis, I., Zeroual, Y., & Meftaf Kadmiri, I. (2021). Nitrogen Fixing Azotobacter Species as Potential Soil Biological Enhancers for Crop Nutrition and Yield Stability. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>

Abdel, A., Abu Alhmad, M. , Kordrostami, M., Abo-Baker, A., & Zakir, A. (2020). Inoculation with Azospirillum lipoferum or Azotobacter chroococcum Reinforces Maize Growth by Improving Physiological Activities Under Saline Conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(3), 1293–1306. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10065-9>

Agius, A., Pastorelli, G., & Attard, E. (2019). Cows fed hydroponic fodder and conventional diet: effects on milk quality. *Archives Animal Breeding*, 62(2), 517–525. <https://doi.org/10.5194/aab-62-517-2019>

Balliu, A., Zheng, Y., Sallaku, G., Fernández, J. A., Gruda, N. S., & Tuzel, Y. (2021). Environmental and Cultivation Factors Affect the Morphology, Architecture and Performance of Root Systems in Soilless Grown Plants. *Horticulturae*, 7(8), 243. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080243>

Beltrano, J., y Jiménez, D. (2015). *Cultivo hidropónico*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.

Biełło, K. A., Lucena, C., López-Tenllado, F. J., Hidalgo-Carrillo, J., Rodríguez-Caballero, G., Cabello, P., Sáez, L. P., Lu-

que-Almagro, V., Roldán, M. D., Moreno-Vivián, C., & Olaya-Abril, A. (2023). Holistic view of biological nitrogen fixation and phosphorus mobilization in Azotobacter chroococcum NCIMB 8003. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1129721>

Cassan, F., Perrig, D., Sgroy, V., Masciarelli, O., Penna, C. y Luna, V. (2009). Azospirillum brasiliense Az39 y Bradyrhizobium japonicum E109, inoculados solos o en combinación, promueven la germinación de semillas y el crecimiento temprano de plántulas de maíz (*Zea mays L.*) y soja (*Glycine max L.*). *Revista europea de biología del suelo*, 45, 28-35. <https://doi.org/10.1016/J.EJSOBI.2008.08.005>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (DANE). (2022). *Informe de coyuntura económica*. DANE.

Hasan, Md. R., Hossain, A. K. M. Z., Kabir, M. H., Islam, Md. M., Alim, S. M. A., & Akondo, Md. R. I. (2023). Evaluation of Maize Varieties at Seedling Stage under Drought Stress Based on Morpho-physiological and Biochemical Attributes. *Asian Plant Research Journal*, 11(6), 9–18. <https://doi.org/10.9734/aprj/2023/v11i6225>

Hindersah, R., Nuraniya Kamaluddin, N., Samanta, S., Banerjee, S., & Sarkar, S. (2020). Role and perspective of Azotobacter in crops production. *Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 17(2), 170–179.

Kawaka, F. (2022). Characterization of symbiotic and nitrogen fixing bacte-

- ria. *AMB Express*, 12(1), 99. <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01441-7>
- Khaeim, H., Kende, Z., Jolánkai, M., Kovács, G. P., Gyuricza, C., & Tarnawa, Á. (2022). Impact of Temperature and Water on Seed Germination and Seedling Growth of Maize (*Zea mays L.*). *Agronomy*, 12(2), 397. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020397>
- Khatami, S. A., Kasraie, P., Oveysi, M., Tohid Moghadam, H. R., & Ghooshchi, F. (2022). Mitigating the adverse effects of salinity stress on lavender using bio-dynamic preparations and bio-fertilizers. *Industrial Crops and Products*, 183, 114985. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114985>
- Khaziev, D., Gadiev, R., Yusupova, C., Kazanina, M., & Kopylova, S. (2021). Effect of hydroponic green herbage on the productive qualities of parent flock geese. *Veterinary World*, 14(4), 841–846. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.841-846>
- Kumar, S. (2020). Abiotic Stresses and Their Effects on Plant Growth, Yield and Nutritional Quality of Agricultural Produce. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 4(4), 367–378. <https://doi.org/10.26855/ijfsa.2020.12.002>
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, Ma. E., Cristobal-Acevedo, D., & Ríos-Sánchez, E. (2013). Mineral Nutri-
tion of Hydroponic Green Forage. *Revisita Chapingo Serie Horticultura*, XIX(2), 211–223. <https://doi.org/10.5154/r.chsh.2011.10.053>
- Roncallo, B., Soca, M. y Ojeda, F. (2020). Comportamiento productivo de bovinos machos en desarrollo en dos explotaciones ganaderas del valle del Cesar en Colombia. *Pastos y Forrajes*, 43(3), 220–228.
- Song, Y., Liu, J., & Chen, F. (2020). *Azotobacter chroococcum* inoculation can improve plant growth and resistance of maize to armyworm, *Mythimna separata* even under reduced nitrogen fertilizer application. *Pest Management Science*, 76(12), 4131–4140. <https://doi.org/10.1002/ps.5969>
- Sumbul, A., Ansari, R. A., Rizvi, R., & Mahmood, I. (2020). Azotobacter: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3634–3640. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004>
- Yang, T., & Kim, H.-J. (2020). Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122619. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122619>



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.