

# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**SEDE VILLA CORZO**

## **TESIS**

**Evaluación del efecto de las  
nanopartículas de ZnO y MgO en el  
crecimiento y nutrición del pasto  
Mulato II**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS AGROFORESTALES**

**PRESENTA**

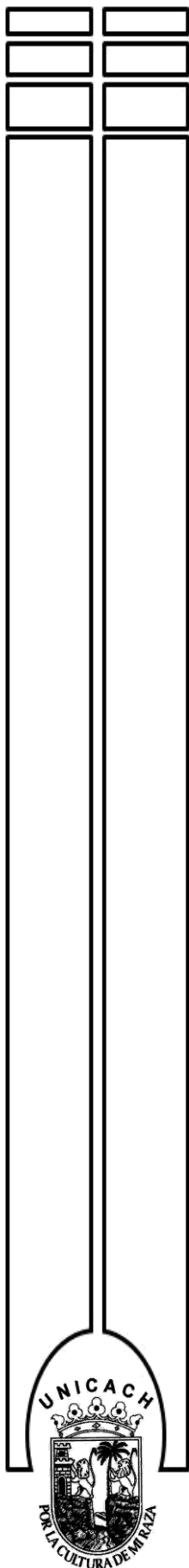
**HUGO CRUZ GONZÁLEZ**

**DIRECTOR**

**DR. WEL OLVEIN CRUZ MACÍAS**

Villa Corzo, Chiapas; Octubre de 2025





# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**SEDE VILLA CORZO**

## **TESIS**

**Evaluación del efecto de las  
nanopartículas de ZnO y MgO en el  
crecimiento y nutrición del pasto  
Mulato II**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS AGROFORESTALES**

**PRESENTA**

**HUGO CRUZ GONZÁLEZ**

**COMITÉ TUTORIAL**

**DR. WEL OLVEIN CRUZ MACÍAS (DIRECTOR)**

**DR. MIGUEL ÁNGEL SALAS MARINA (CODIRECTOR)**

**DR. VICENTE PÉREZ MADRIGAL (ASESOR)**

Villa Corzo, Chiapas; Octubre 2025.

## Autorización impresión



# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

## SECRETARÍA ACADÉMICA

### DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 10 de septiembre de 2025

Oficio No. SA/DIP/1040/2025

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

**C. Hugo Cruz González**

**CVU: 1273512**

**Candidato al Grado de Maestro en Ciencias Agroforestales**

**Facultad de Ingeniería**

**UNICACH**

**Presente**

Con fundamento en la opinión favorable emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado *Evaluación del efecto nanopartículas ZnO y MgO en el crecimiento y nutrición del pasto Mulato II* y como Director de tesis el Dr. Wel Olvein Cruz Macías (CVU 794429) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo autoriza la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el Grado de Maestro en Ciencias Agroforestales.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento, así como entregar en esta Dirección una copia de la *Constancia de Entrega de Documento Recepcional* que expide el Centro Universitario de Información y Documentación (CUID) de esta Casa de estudios, en sustitución al ejemplar empastado.

Atentamente  
"Por la Cultura de mi Raza"

**Dra. Dulce Karol Ramírez López**  
**DIRECTORA**



C.c.p. Dr. Segundo Jordán Orantes Alborez, Director de la Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.  
Dr. Miguel Ángel Salas Marina, Coordinador del Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.  
Archivo/ministerio.

EPL/DKRL/sgpgr



**2025, Año de la mujer indígena**  
**Año de Rosario Castellanos**

Reservación: Noé Zeteno



Ciudad Universitaria, libramiento norte  
poniente 1150, col. Lajas Mazatlán C.P. 29039,  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México  
[investigacionyposgrado@unicach.mx](mailto:investigacionyposgrado@unicach.mx)

## **Dedicatoria**

A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi refugio en cada desafío. Gracias por creer en mí, incluso cuando yo dudaba.

A mis maestros, por ser guías y fuentes de inspiración. Sus enseñanzas han sido fundamentales en mi formación académica y profesional.

A mis amigos y compañeros, por las risas, desvelos compartidos y apoyo mutuo, sus palabras de aliento y compañía han hecho este camino más llevadero.

A todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a la realización de esta tesis, directa o indirectamente. Su presencia y apoyo han sido invaluable.

Esta tesis es para ustedes, con todo mi agradecimiento y cariño.

## **Agradecimientos**

**A Reglamento de Becas Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONACYT NACIONALES 2023)** por el financiamiento de la beca, sin el apoyo económico este proyecto no se hubiese concretado.

A la UNICACH, donde me formé como Ingeniero y ahora como Maestro en Ciencias. Gracias a mi *alma mater* por las oportunidades brindadas durante mi proceso formativo.

Al Cuerpo Académico Agroforestería y Desarrollo Rural y al Núcleo Académico de la maestría, gracias por sus aportaciones a mi formación.

Gracias a Dios por permitirme llegar hasta donde me encuentro hoy.

A mis padres que siempre me apoyaron, estando conmigo en las peores circunstancias de la vida.

Todo es posible en la medida que te lo propongas. Jamás te rindas

# Índice

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. Introducción.....                                                                                   | 1  |
| II. Revisión de literatura .....                                                                       | 3  |
| 2.1 Ganadería y medio ambiente .....                                                                   | 3  |
| 2.2 Impactos Ambientales de la Ganadería .....                                                         | 4  |
| 2.3 Agroforestería .....                                                                               | 5  |
| 2.4 Pastos forrajeros.....                                                                             | 7  |
| 2.4.1 Composición química y calidad nutritiva de los pastos.....                                       | 8  |
| 2.5 Alternativas para mejorar la producción de forrajes. ....                                          | 9  |
| 2.5.1 Fertilización .....                                                                              | 11 |
| 2.5.2 Especies mejoradas .....                                                                         | 13 |
| 2.5.3 Conservación de forrajes.....                                                                    | 15 |
| 2.6 Nanotecnologías .....                                                                              | 17 |
| 2.7 La nanotecnología aplicada al campo.....                                                           | 18 |
| 2.7.1 Funciones de las nanopartículas de ZnO y MgO en las plantas.....                                 | 22 |
| III. Objetivos.....                                                                                    | 24 |
| 3.1 Objetivo general.....                                                                              | 24 |
| 3.2 Objetivos específicos .....                                                                        | 24 |
| IV. Hipótesis .....                                                                                    | 24 |
| V. Resultados .....                                                                                    | 25 |
| 5.1 Evaluación de nanopartículas de ZnO/MgO en el crecimiento y nutrición del<br>pasto Mulato II ..... | 25 |
| VI. Discusión general.....                                                                             | 43 |
| VII. Conclusión general .....                                                                          | 45 |
| VIII. Referencias bibliográficas .....                                                                 | 46 |
| IX. Anexos .....                                                                                       | 56 |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.1 Participación como ponente en congresos de investigación.....                          | 56 |
| 9.2 Constancias concursos de carteles .....                                                | 58 |
| 9.3 Estancia en el Instituto de Investigación e Innovación en energías renovables<br>..... | 60 |
| 9.4 Retribución Social .....                                                               | 61 |
| 9.5 Evidencia de envío del artículo .....                                                  | 64 |

## **Resumen**

Este estudio se centró en evaluar el impacto de las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y óxido de magnesio (MgO) sobre el crecimiento y nutrición del pasto Mulato II. El objetivo fue determinar el efecto de las nanopartículas de ZnO y MgO sobre la productividad y calidad de los pastos forrajeros. Los resultados indicaron que la aplicación de nanopartículas de ZnO y MgO promueven el crecimiento y desarrollo del pasto Mulato II. Se observaron incrementos en la altura de las plantas, el número de hojas y la longitud de las raíces, lo que sugiere una influencia directa en la fisiología y metabolismo vegetal. Los análisis revelaron que las nanopartículas afectan la calidad nutricional del pasto, y Los estudios bromatológicos mostraron que los pastos tratados presentaron una mejor composición nutricional, lo cual representa un beneficio potencial para la alimentación animal. En conclusión, la aplicación de nanopartículas de ZnO y MgO podría contribuir a una estrategia eficaz para mejorar la productividad y calidad de los pastos forrajeros. No obstante, es necesario realizar más investigaciones para establecer la dosis óptima y frecuencia de aplicación que permitan obtener los mejores resultados.

**Palabras clave:** Nanofertilizantes, Nanopartículas de ZnO, Nanopartículas de MgO, Pasto Mulato.



## **Abstract**

This study focused on evaluating the impact of zinc oxide (ZnO) and magnesium oxide (MgO) nanoparticles on the growth and nutrition of Mulato II grass. The objective was to determine if the application of these nanoparticles could improve the productivity and quality of forage grasses. The results indicated that the application of ZnO and MgO nanoparticles has a positive effect on the growth and development of Mulato II grass. Significant improvements were observed in plant height, leaves number, and root length, suggesting a direct influence on plant physiology and metabolism. Furthermore, the analyses revealed that these nanoparticles also affect the nutritional quality of the grass. Bromatological studies revealed that the treated grass species presented a better nutritional composition, which represents a potential benefit for animal feed. As a conclusion, the application of both; ZnO and MgO nanoparticles could constitute an effective strategy to improve the productivity and quality of forage grasses. However, further research must be made in order to establish the optimal dose, as well as the application frequency that lead us to obtain the best results.

**Keywords:** Nanofertilizers, ZnO nanoparticles MgO nanoparticles, Mulato Grass.

## **I. Introducción**

En México los pastos forrajeros son los principales cultivos utilizados en la ganadería, la calidad nutricional se ve reflejado en la capacidad de garantizar o no las exigencias nutritivas de los animales para el mantenimiento, crecimiento y reproducción. Las principales características que el productor busca en los pastos forrajeros son; crecimiento rápido, adaptación a distintas condiciones edafoclimáticas y buena calidad nutricional (Gutiérrez *et al.*, 2018). En este sentido es posible encontrar una especie, variedad o híbrido de pasto, de fácil adaptación a cualquier tipo de clima con abundante producción de forraje, sin embargo, esto no es suficiente para satisfacer las necesidades de los animales en los ranchos ganaderos (Ramírez *et al.*, 2017). En los últimos años se han realizado investigaciones enfocadas en el mejoramiento genético para generar pastos híbridos a través de cruza de pastos nativos con introducidos.

En la actualidad, el estado de Chiapas cuenta con diversas variedades de pastos híbridos, introducidos por los productores ganaderos con el objetivo de satisfacer las necesidades nutricionales de los animales (Pirela, 2005). Por otro lado, la introducción de nuevos pastos forrajeros mejorado no es sinónimo de éxito en la adaptación, por lo que, es importante generar sistemas de producción mediante fertilización y sistemas silvopastoriles con el fin de mejorar la producción y/o la calidad nutricional.

En los últimos años, se ha introducido el uso de la nanotecnología en investigaciones con la finalidad de encontrar posibles soluciones a diversos problemas ambientales, con distintos tipos de minerales como Fe, Mg, Zn, P, K, etc (Méndez *et al.*, 2016).

Sin embargo, se considera sumamente importante Evaluar los efectos de nanopartículas de micronutrientes en los procesos fisiológicos de pastos del género *Brachiaria*, con la finalidad de tener mejoras en la producción, calidad de los pastos y en la economía de las fincas ganaderas.

## II. Revisión de literatura

### 2.1 Ganadería y medio ambiente

La ganadería representa una de las actividades económicas más relevantes a nivel global y nacional, siendo la bovina la principal en el uso de suelo en América Latina y el Caribe. Esta actividad enfrenta desafíos significativos como; bajos niveles de productividad y rentabilidad, además de impactos ambientales negativos. Investigaciones recientes en la región, destacan aumentos considerables en la tasa de deforestación, acompañado de procesos de degradación del suelo, fragmentación de paisajes, pérdida de biodiversidad y disminución de ingresos económicos, especialmente en comunidades rurales (Ramírez *et al.*, 2017).

El principal rol de la ganadería es proporcionar una fuente segura de proteínas para una población mundial en rápido crecimiento con el fin de contribuir a la seguridad alimentaria. Los patrones de consumo en las economías industrializadas y emergentes han llevado a una ganadería intensiva y a un mercado de alimentos más globalizado, provocando cambios en el uso de tierras agrícolas, praderas y pastos (Carlos *et al.*, 2018).

Ramírez *et al.*, (2017) mencionan que en la amazonia hay factores limitantes identificados que no permiten implementar sistemas ganaderos sustentables como; falta de especies forrajeras de amplia producción de biomasa, adaptadas a las condiciones edafoclimáticas. En la actualidad, la ganadería ocupa 767 306 ha de pastos mejorados y 24 616 ha de pastos naturales sobre suelos degradados, que causa graves problemas al

desarrollo agropecuario de la zona; por lo que es necesario buscar alternativas sustentables para recuperar estas áreas degradadas y evitar que se continúen deforestando los bosques para el establecimiento de nuevas pasturas.

## **2.2 Impactos Ambientales de la Ganadería**

La deforestación es uno de los impactos más significativos de la ganadería en la Amazonia brasileña. Según un estudio publicado en la revista Science, la expansión de la ganadería es responsable de alrededor del 70% de la deforestación en la región (Barona *et al.*, 2010), esto se debe a que requiere grandes extensiones de tierra para la producción de pastos y cría de animales, trayendo consigo la destrucción de hábitats naturales, pérdida de biodiversidad e impactos en el clima global, ya que los bosques tropicales son importantes sumideros de carbono.

La contaminación del agua es otro impacto de la ganadería, ya que los desechos de los animales pueden contaminar los ríos y lagos, causando problemas de salud para los humanos y la vida silvestre. Un estudio publicado en la revista Water Research encontró que la ganadería es una de las principales fuentes de contaminación del agua en la región del río Colorado en Estados Unidos (Graham *et al.*, 2010). La contaminación del agua también puede tener impactos en la economía local, ya que la pesca y el turismo pueden ser afectados por la degradación de la calidad del agua.

La emisión de gases de efecto invernadero es otro impacto, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la ganadería es responsable

de alrededor del 14,5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (FAO, 2013). Esto se debe a que los animales producen metano como parte de su proceso digestivo, y que la producción de fertilizantes y pesticidas para la ganadería también puede contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero impactando en el clima global, calentamiento global y cambios climáticos.

La pérdida de biodiversidad por la ganadería puede llevar a la destrucción de hábitats naturales y la pérdida de especies. Un estudio publicado en la revista *Conservation Biology* encontró que la ganadería es una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad en la región del Cerrado en Brasil (Klink *et al.*, 2005). La pérdida de biodiversidad puede tener impactos en la economía local, ya que la pérdida de especies puede afectar la pesca y el turismo.

La expansión de la ganadería puede llevar a la fragmentación de los hábitats naturales, impactando en la biodiversidad y la ecología de los ecosistemas. Un estudio publicado en la revista *Landscape Ecology* encontró que la ganadería es una de las principales causas de la fragmentación de los hábitats en la región del Chaco en Sudamérica (Grau *et al.*, 2013).

## **2.3 Agroforestería**

La agroforestería se puede considerar como la combinación multidisciplinaria de diversas técnicas ecológicamente viables, que implican el manejo de árboles o arbustos, cultivos alimenticios y/o animales en forma simultánea o secuencial (Palomeque, 2009).

Palomeque (2009) menciona que los objetivos de la agroforestería son; diversificar la producción, mejorar la agricultura migratoria, aumentar los niveles de materia orgánica del suelo, fijar el nitrógeno atmosférico, reciclar los nutrientes, modificar el microclima, optimizar la productividad del sistema respetando el concepto de producción sostenible y sus tres principales componentes agroforestales, plantas leñosas perennes (árboles), cultivos agrícolas y animales (pastizales), definen las siguientes categorías, las cuales se basan en la naturaleza y la presencia de estos componentes son los sistemas agrosilvícolas estos consisten en alternar árboles y cultivos de temporadas (anuales o perennes), sistemas silvopastoriles estos consisten en alternar árboles y pastizales para sostener la producción animal y sistemas agrosilvopastoriles estos Consisten en alternar árboles, cultivos de temporada y pastizales para sostener la producción animal (Hillbrand *et al.*, 2017) menciona que la agroforestería es uno de los múltiples enfoques que permiten restaurar los bosques y tierras agrícolas degradados, contribuyendo a la restauración del paisaje. Hay varios enfoques agroforestales que permiten restaurar y aumentar la productividad de la tierra y, al mismo tiempo, resolver las exigencias de los agricultores de bajos ingresos; además, la presencia de árboles ofrece una gran cantidad de ventajas. Por ejemplo, los árboles pueden fijar el nitrógeno, estabilizar el suelo y usarse con éxito en cultivos en terrazas, cultivos en curvas de nivel y cultivos en fajas para combatir la erosión del suelo y aumentar su fertilidad. Plantados en forma de cortinas rompevientos o de cinturones protectores, los árboles pueden proteger los suelos de la erosión causada por el viento.

## 2.4 Pastos forrajeros

En la década de 1950 llegaron al norte de México variedades de pasto, por donaciones al Instituto Tecnológico de Monterrey, que se dispersaron en el árido y semiárido desierto (INIFAP, 2015), estas acciones fueron realizadas para mejorar en los pastos forrajeros en mejor producción y mejor valor nutritivo, llevándose a cabo la dispersión de estos pastos por todo el país.

Los pastos forrajeros son uno de los principales cultivos utilizados en las practicas ganaderas, presentan un valor nutritivo y tienen la capacidad de garantizar o no las exigencias nutritivas de los animales para su mantenimiento, crecimiento y reproducción, es lo que se le conoce como valor nutritivo. En términos generales el valor nutritivo de todas las especies forrajeras es la resultante de los factores intrínsecos de la planta como es la composición química, digestibilidad, factores ambientales, factores propios del animal, y la interacción entre las pasturas, el animal y el ambiente. Son muchos los factores determinantes de la composición química de los pastos. factores propios (especie, edad, morfología, etc.), factores ambientales (temperatura, radiación solar, precipitación, fertilidad y tipo de suelo) y factores de manejo que el hombre ejerce sobre la pastura (Pirela, 2005).

Ramírez *et al.*, (2017), mencionan que los pastos que producen alimentos, fibra y energía requieren condiciones específicas para desarrollarse, (temperatura y humedad), hasta cierto punto, climas más cálidos pueden beneficiar el crecimiento de los forrajes en algunas partes del mundo. Sin embargo, si se superan los niveles recomendados para



estas plantas, o si no se dispone de agua o de nutrientes suficientes, probablemente se producirá una disminución del rendimiento y del valor nutritivo.

Por lo tanto, investigadores de INIFAP mencionan que cada 100 km de terrenos recorridos podremos encontrar un genotipo diferente que produzca mayor cantidad de forraje, mayor proporción de hojas, mayor cantidad de semillas, mayor digestibilidad, mayor cantidad de proteína, etc. Para cada sitio en específico habrá una variedad sobresaliente que se adapte y produzca la mayor cantidad de forraje para el ganado. La siembra tanto de pastos nativos como introducidos es importante para incrementar la rentabilidad de los predios ganaderos (INIFAP, 2015).

#### **2.4.1 Composición química y calidad nutritiva de los pastos**

La composición química de los pastos indica la cantidad de nutrientes orgánicos y minerales presentes (aunque no de su disponibilidad para el animal), así como la existencia de factores o constituyentes que influyen negativamente sobre la calidad (Pirela, 2005).

Son muchos los factores determinantes de la composición química de los pastos, entre ellos se citan, la especie y variedad, el clima, suelo, la gestión del pasto y la época del año son factores. La especie y variedad del pasto pueden afectar la calidad nutritiva, ya que algunas especies pueden tener mayor contenido de proteínas y energía que otras. Los factores climáticos tienen una gran incidencia en la calidad nutricional como los pastos poseen características fisiológicas y morfológicas propias que le brindan

adaptación específica para su crecimiento y calidad. Sin embargo, experimentan modificaciones morfológicas en su rendimiento y calidad cuando ocurren cambios en las condiciones climáticas, donde la temperatura, la radiación solar, las precipitaciones y su distribución son los componentes de mayor influencia bajo las condiciones tropicales (Pirela, 2005).

## **2.5 Alternativas para mejorar la producción de forrajes.**

La inclusión de leguminosas en asociaciones forrajeras mejora significativamente el perfil nutricional de las gramíneas, especialmente en términos de proteína y minerales. Esta mejora es crucial para conservar la calidad del forraje durante los periodos secos, cuando el consumo por parte del ganado suele intensificarse. En contraste, las gramíneas tropicales tienden a tener niveles bajos de proteína cruda frecuentemente por debajo del 7% en la temporada seca debido a la limitada disponibilidad de nitrógeno, lo que reduce la ingesta voluntaria y, en consecuencia, impacta negativamente en la productividad animal (Villaquirán y Lascano, 1986). Sin embargo, las leguminosas tienen un mayor contenido de calcio y fósforo que las gramíneas, lo que las hace más adecuadas para la producción de leche y carne (Moore *et al.*, 2000).

El clima y suelo también pueden influir en la calidad nutritiva de los pastos forrajeros. Por ejemplo, los pastos que crecen en suelos con bajo contenido de nutrientes pueden tener menor calidad nutritiva que aquellos que crecen en suelos con mayor contenido de nutrientes (Fahey, *et al.*, 1994). De igual forma, el clima puede afectar la calidad nutritiva

de los pastos, ya que la temperatura y la precipitación pueden influir en el crecimiento y la composición química del pasto (Hart *et al.*, 1998).

La gestión del pasto también es un factor importante que puede afectar la calidad nutritiva de los pastos forrajeros. La frecuencia y la intensidad del pastoreo pueden influir en la calidad nutritiva del pasto, ya que un pastoreo excesivo puede llevar a una disminución en la calidad nutritiva del pasto (Heitschmidt *et al.*, 2004). Por otro lado, un pastoreo adecuado puede ayudar a mantener la calidad nutritiva del pasto y a promover el crecimiento y la salud de los animales.

Los pastos de alta calidad nutritiva pueden proporcionar a los animales los nutrientes necesarios para un crecimiento y desarrollo óptimos, lo que puede llevar a un aumento en la producción de carne y leche (Coleman *et al.*, 2003). Por otro lado, los pastos de baja calidad nutritiva pueden llevar a una disminución en la producción ganadera, ya que los animales pueden no recibir los nutrientes necesarios para un crecimiento y desarrollo óptimos (Fahey *et al.*, 1994).

La calidad también puede afectar la salud de los animales. Los pastos de baja calidad nutritiva pueden llevar a una mayor incidencia de enfermedades, ya que los animales pueden no recibir los nutrientes necesarios para mantener un sistema inmunológico saludable (Heitschmidt *et al.*, 2004). Por otro lado, los pastos de alta calidad nutritiva pueden ayudar a promover la salud de los animales y a reducir la incidencia de enfermedades.

### 2.5.1 Fertilización

La fertilización es una práctica fundamental para mejorar la calidad y producción de los pastos forrajeros, proporcionan nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, aumentando la producción de biomasa y la calidad nutricional del forraje (Jurado *et al.*, 2021).

Existen diferentes tipos de fertilizantes utilizados para mejorar la calidad y producción de los pastos forrajeros. Los nitrogenados, fosfatados y potásicos son algunos de los más comunes. El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, y su aplicación puede proporcionar un aumento en la producción de biomasa (Domínguez *et al.*, 2021). El fósforo es otro nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, y su aplicación puede proporcionar un aumento en la producción de biomasa y la calidad nutricional del forraje (Jurado *et al.*, 2021). El potasio es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, y su aplicación puede proporcionar un aumento en la producción de biomasa y la resistencia a las enfermedades (Heffer & Prud'homme, 2013).

La elección del tipo y cantidad de fertilizante adecuado es fundamental para mejorar la calidad y producción de los pastos forrajeros. La aplicación excesiva puede llevar a la contaminación del agua y el suelo, impactando de manera negativa en la biodiversidad y la calidad del forraje (Hart *et al.*, 1988). Por otro lado, la aplicación insuficiente de fertilizantes puede llevar a una disminución en la producción de biomasa y la calidad nutricional del forraje.

La fertilización anual es una práctica común en la producción de pastos forrajeros, y consiste en la aplicación de fertilizantes una vez al año, generalmente durante la primavera o el otoño (Jurado *et al.*, 2021). La fertilización estacional es otra práctica que consiste en la aplicación de fertilizantes durante diferentes estaciones del año, lo que puede ser beneficioso para las plantas que requieren nutrientes adicionales durante ciertas estaciones (Domínguez *et al.*, 2021). La fertilización foliar es una práctica que consiste en la aplicación de fertilizantes directamente sobre las hojas de las plantas, lo que puede ser beneficioso para las plantas que requieren nutrientes adicionales durante periodos de estrés (Jurado *et al.*, 2021).

Por otro lado, la fertilización orgánica es una alternativa a la fertilización química que puede ser beneficiosa para el medio ambiente. La fertilización orgánica utiliza materiales naturales como el estiércol, el compost y los residuos vegetales para proporcionar nutrientes a las plantas (Heffer & Prud'homme, 2013). Esta práctica puede reducir la contaminación del agua y el suelo, y puede mejorar la biodiversidad y la calidad del forraje.

También la fertilización precisa es otra práctica que puede ser beneficiosa para el medio ambiente. Utiliza tecnologías como la agricultura de precisión y los sensores de nutrientes para aplicar los fertilizantes de manera precisa y eficiente (Domínguez *et al.*, 2021). Esta práctica puede reducir la contaminación del agua y el suelo, y puede mejorar la biodiversidad y la calidad del forraje.

### 2.5.2 Especies mejoradas

El mejoramiento del valor nutricional de los pastos forrajeros es crucial para mejorar la productividad y la eficiencia de la producción ganadera (García *et al.*, 2018). Las especies mejoradas de pastos forrajeros han sido desarrolladas para mejorar su valor nutricional, resistencia a enfermedades y tolerancia a condiciones climáticas adversas (Ramírez 2024).

Las especies mejoradas de pastos forrajeros presentan varias ventajas. Mayor contenido de proteínas y energía, lo que las hace ideales para la alimentación de ganado de alta producción (López *et al.*, 2019), tienen mejor digestibilidad, lo que permite una mayor absorción de nutrientes por parte del ganado (García *et al.*, 2018), presentan mayor resistencia a enfermedades y plagas, lo que reduce la necesidad de utilizar productos químicos y minimiza el impacto ambiental (Ramírez 2024), asimismo, tienen mayor tolerancia a condiciones climáticas adversas, como la sequía y el calor, que las hace ideales para la producción en regiones con climas extremos (López *et al.*, 2019), finalmente, tienen mayor producción de biomasa, lo que permite una mayor disponibilidad de forraje.

Algunas de las especies mejoradas de pastos forrajeros más comunes incluyen *Brachiaria*, *Pennisetum* y *Cynodon* (García *et al.*, 2018). La *Brachiaria* es conocida por su alto contenido de proteínas y energía, y es ideal para la alimentación de alta producción (Kumar *et al.*, 2019), también es resistente a enfermedades y plagas, y es tolerante a condiciones climáticas adversas (López *et al.*, 2019). El *Pennisetum* es rico

en proteínas y energía, y es ideal para la alimentación de ganado de alta producción (García *et al.*, 2018).

Sin embargo, las especies mejoradas de pastos forrajeros también presentan algunas desventajas. Mayor costo de producción, pueden ser más costosas de producir que las variedades tradicionales (Ramírez 2024), presentan mayor requerimiento de nutrientes, que las variedades tradicionales (Peters *et al.*, 2012), tienen mayor riesgo de erosión, especialmente si se cultivan en suelos con pendientes pronunciadas, Asimismo, mayor requerimiento de manejo en cuanto a la fertilización, finalmente, mayor riesgo de contaminación genética, ya que las especies mejoradas pueden contaminar genéticamente a las variedades tradicionales, afectando la biodiversidad y la sostenibilidad de la producción ganadera.

Es importante destacar que la implementación de prácticas de manejo sostenibles es fundamental para minimizar los riesgos asociados con la producción de especies (López *et al.*, 2019). Esto incluye la utilización de técnicas de conservación del suelo, la gestión eficiente del agua y la implementación de programas de control de plagas y enfermedades (Ramírez 2024).

La investigación en este campo es continua y se están desarrollando nuevas tecnologías y técnicas para mejorar la producción y la sostenibilidad de las especies mejoradas de pastos forrajeros (Peters *et al.*, 2012). Por ejemplo, la utilización de marcadores genéticos y la selección asistida por marcadores (SAM) están permitiendo la identificación de genes

asociados con características deseables, como la resistencia a enfermedades y la tolerancia a condiciones climáticas adversas (López *et al.*, 2019).

### **2.5.3 Conservación de forrajes**

La conservación de forrajes es una práctica común en la producción ganadera, ya que permite mantener la calidad nutricional de los pastos forrajeros durante períodos de escasez o baja disponibilidad, puede reducir la pérdida de nutrientes durante el almacenamiento, mejorar la calidad nutricional de los pastos forrajeros y aumentar la disponibilidad de forrajes durante períodos de escasez, además, la conservación de forrajes puede reducir los costos de producción ganadera y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos naturales (Romero *et al.*, 2015).

Existen varios métodos, el ensilaje es uno de ellos es un método de conservación de forrajes que implica la fermentación anaeróbica de los pastos forrajeros, lo que permite reducir la pérdida de nutrientes durante el almacenamiento se utiliza comúnmente en la producción ganadera. Este método implica la recolección de los pastos forrajeros en un estado de madurez adecuado, seguido de la compactación y el sellado en un silo o un contenedor hermético (Rotz *et al.*, 2020). El ensilaje permite reducir la pérdida de nutrientes durante el almacenamiento y mejorar la calidad nutricional de los pastos forrajeros.

La deshidratación es otro método que implica la eliminación del agua de los pastos forrajeros, lo que permite reducir el peso y el volumen de los forrajes. La deshidratación



puede realizarse mediante diferentes métodos, incluyendo la deshidratación al aire, la deshidratación por congelación y la deshidratación por calor.

La fermentación es un método de conservación de forrajes que implica la acción de microorganismos sobre los pastos forrajeros. Este método permite mejorar la calidad nutricional de los forrajes y reducir la pérdida de nutrientes durante el almacenamiento, puede realizarse mediante diferentes métodos, incluyendo la fermentación láctica y la fermentación alcohólica (Rotz *et al.*, 2020).

Las ventajas de la conservación de forrajes incluyen la reducción de la pérdida de nutrientes durante el almacenamiento, la mejora de la calidad nutricional de los pastos forrajeros, la reducción de los costos de producción ganadera y la mejora de la eficiencia en el uso de los recursos naturales. Sin embargo, los contras incluyen la necesidad de una inversión inicial en equipo y tecnología, la necesidad de una mayor cantidad de mano de obra, la posibilidad de afectar la calidad nutricional de los pastos forrajeros si no se realiza correctamente y la posibilidad de generar problemas de contaminación y salud pública si no se manejan adecuadamente los forrajes conservados (Singh y Meena, 2011)

Sin embargo, la conservación de forrajes también tiene algunas desventajas. Por ejemplo, requiere una inversión inicial en equipo y tecnología, y puede requerir una mayor cantidad de mano de obra. Además, si no se realiza correctamente, la conservación de forrajes puede afectar la calidad nutricional de los pastos forrajeros. También puede generar problemas de contaminación y salud pública si no se manejan adecuadamente los forrajes conservados (Romero *et al.*, 2015).

## 2.6 Nanotecnologías

La nanotecnología es un campo interdisciplinario que combina la física, la química, la biología y la ingeniería para diseñar, sintetizar y aplicar materiales y sistemas a escala nanométrica (Roco, 2003). Esta tecnología tiene el potencial de revolucionar diversas áreas, incluyendo la agricultura, la medicina, la energía y el medio ambiente.

La definición de nanotecnología se centra en la manipulación deliberada de la materia a escala nanométrica para crear materiales, dispositivos y sistemas con propiedades únicas (National Nanotechnology Initiative, 2019). La escala nanométrica se refiere a la longitud de los materiales y sistemas que se encuentran en el rango de 1-100 nanómetros (nm). En esta escala, los materiales y sistemas pueden exhibir propiedades físicas, químicas y biológicas que no se encuentran en los materiales a escala macroscópica.

Una de las aplicaciones más prometedoras de la nanotecnología es en la agricultura, ya que se utiliza para desarrollar pesticidas y fertilizantes más eficientes, así como para mejorar la resistencia de las plantas a las enfermedades y estrés ambiental (Gogos *et al.*, 2012). Por ejemplo, las nanopartículas de óxido de zinc pueden ser utilizadas como pesticidas para controlar la población de plagas en los cultivos.

La nanotecnología también tiene aplicaciones en la energía y el medio ambiente, se utiliza para desarrollar nuevos materiales y sistemas para la generación y almacenamiento de energía, como las células solares y las baterías (Kamat, 2007). Por ejemplo, las

nanopartículas de titanio pueden ser utilizadas para mejorar la eficiencia de las células solares.

Sin embargo, la nanotecnología también plantea desafíos y riesgos. La liberación de nanopartículas en el medio ambiente puede tener efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente (Tratnyek y Johnson, 2006).

## **2.7 La nanotecnología aplicada al campo**

El término "nanotecnología" fue utilizado por primera vez por Norio Taniguchi en 1974. La palabra "nanotecnología" se originó de la palabra griega "nanos", que significa "enano" (priyanka *et al.*, 2019). Richard Feynman indicó a finales de la década de los 50, que no había ninguna limitación en el campo de la física o la química que impidiera fabricar productos en base a un reordenamiento de átomos y moléculas, dando inicio a lo que hoy día se conoce como nanotecnología o nanociencia. Actualmente, los investigadores han creado muchos métodos para la obtención de las partículas a nivel nano, creando así compuestos con excelentes propiedades para aplicarlas en diversos campos (Camacho, 2013). En los últimos años, las nuevas tecnologías para la investigación de partículas microscópicas han impulsado el desarrollo de la nanotecnología y su aplicación en diferentes campos de vanguardia en física, química, ingeniería y biología.

Según Camacho (2013) la nanotecnología comprende el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación de materiales, equipos y sistemas funcionales a través del control

de la materia en la nanoescala, siendo un nanómetro (nm) la billonésima parte de un metro. A través de esta tecnología, es posible crear equipos y materiales con propiedades totalmente nuevas y únicas que tengan un gran impacto en el desarrollo de la industria, la electrónica, la química, la energía, la medicina, etc.

Los reportes registrados del uso de las nanopartículas a lo largo del tiempo son su aplicación en la medicina, un claro ejemplo que nos da Mauleon (2019) es el uso del óxido de zinc, ya que este compuesto ha despertado un interés tecnológico debido a sus propiedades físicas y químicas, las cuales son aprovechadas en numerosas aplicaciones, por lo que tiene un largo historial de uso seguro, no es irritante y es compatible con la piel. En la antigua India se encontraron registros de uso de ZnO para enfermedades oculares. En el primer siglo d. C., el griego Dioscórides lo utilizó para la elaboración de ungüentos. En 1025 fue usado por primera vez en el tratamiento de enfermedades de la piel. La medicina y la nanotecnología están formando un arma para combatir el cáncer. Al combatir la enfermedad en escala molecular, permite detectar precozmente la enfermedad, identificar y atacar más específicamente a las células cancerígenas. El Instituto Nacional del Cáncer de Estados Unidos (NCI) ha puesto en marcha la “Alianza para la nanotecnología en el cáncer”, un proyecto que incluye el desarrollo y creación de instrumentos para la detección precoz (Quintili, 2019).

Quintili (2019) menciona que la nanotecnología puede ser utilizada dentro de la ingeniería textil en varias áreas para dar a los tejidos diferentes tipos de acabamientos, tales como en los teñidos, para dar suavidad en la superficie, en los colorantes utilizados para hacer

los estampados y es por esto por lo que la fabricación de ropas fabricadas con productos nanotecnológicos se denomina inteligentes o textiles nanotecnológicos, como también los calzados o cualquier otro accesorio de moda.

Castro (2017) menciona que muchos retos globales pueden ser superados con las nuevas tecnologías emergentes como la nanotecnología que contribuye a afrontar algunos de ellos como son: Estrategias ante el cambio climático, la seguridad alimentaria, nuevas fuentes de energía, preservación y uso de la biodiversidad.

También podemos encontrar la aplicación en la agricultura mediante la selección y mejoramiento de las especies de plantas, hasta hace algunas décadas estuvo a cargo de la naturaleza. La irrupción de la industria agrícola biotecnológica en el sector agrícola, cambió el objetivo de tal selección, ya no hacía a la supervivencia y aprovechamiento de tal especie, resultado de la selección natural, si no que introduce como fin el mejorar y maximizar la producción de los procesos agrícolas. Por medio de la nanobiotecnología ya se plantea la posibilidad de diseñar la planta a través de la manipulación de las semillas. Las investigaciones en este campo se basan en el desarrollo de nuevas técnicas que utilizan nano partículas que les permiten introducir ADN ajeno a una célula.

Priyanka *et al.*, 2019 menciona que la nanoagricultura implica la aplicación de nanofertilizantes basados en nanopartículas en el campo agrícola, donde las partículas imparten impactos beneficiosos específicos en el crecimiento y desarrollo de las plántulas, y en la productividad de los cultivos. El éxito de las aplicaciones de nanofertilizantes puede deberse a la alta densidad de áreas reactivas en las superficies

de las nanopartículas. Es una solución potencial para aumentar el valor de los productos agrícolas y los problemas ambientales. El uso de nanopartículas de ingeniería (ENP) en el campo agrícola ha mejorado la calidad del suelo mediante la liberación sostenible de nutrientes que, en última instancia, promueven el crecimiento de las plantas de cultivo y su productividad.

Castro (2017) nos menciona que recientes investigaciones sobre la utilización de la nanotecnología en plantas muestran que la incorporación de nanopartículas sintéticas puede incrementar la fotosíntesis y transformar las hojas en sensores bioquímicos. Las nanopartículas también son utilizadas en la preparación de nuevas formulaciones como insecticidas, fungicidas, repelentes de insectos y feromonas, lo cual se hace posible gracias a las nuevas propiedades de estos materiales como su reactividad efectos cuánticos y conductividad eléctrica

Priyanka *et al.*, (2019) mencionan que las nanopartículas de ZnO se disuelven fácilmente en el suelo y las plantas las absorben. Se emplean en una amplia gama de aplicaciones en la agricultura, debido a sus propiedades únicas. Los resultados sugieren que la aplicación de ZnO NP podría aumentar el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, las NP de ZnO mostraron efectos positivos en la germinación de semillas de maíz (*zea mays* L.) (Pokhrel y Dubey, 2013). El efecto de las nanopartículas de azufre y ZnO puede alterar los niveles de contenido de lípidos en tejidos de frijol y maíz. De manera similar, la aplicación foliar de ZnO NP (1,5 mg L<sup>-1</sup>) mostró un aumento de la biomasa en el garbanzo (*Cicer arietinum* L. var. HC-1) en comparación con ZnSO<sub>4</sub>,

aplicación de ZnO NPs a 20mgmL<sup>-1</sup>El tratamiento mostró que la biomasa de la alfalfa (una planta con flores perennes), las plantas de tomate y pepino se puede aumentar (Burman *et al.*, 2013).

El zinc se considera un nutriente esencial para las plantas y desempeña un papel fundamental en el mantenimiento normal del metabolismo celular de las plantas. Los nanobiocatalizadores, que se vuelven funcionales a través de los iones metálicos de zinc, están relacionados con el metabolismo de los hidrocarburos, el mantenimiento del potencial de la membrana celular, la estructura de la hoja, así como la morfología, la naturaleza fisiológica de la membrana celular, la síntesis de proteínas, etc. (Babar *et al.*, 2013; Mori *et al.*, 2016).

### **2.7.1 Funciones de las nanopartículas de ZnO y MgO en las plantas.**

Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) han demostrado tener efectos beneficiosos en las plantas; promueven el crecimiento, mejoran de la tolerancia a la sequía. Esto se debe a que estimulan la división celular y elongación de las raíces, mejorando la absorción de nutrientes y agua. Además, aumentar la producción de antioxidantes en las plantas, protegiéndolas contra el estrés oxidativo (Seleiman *et al.*, 2023).

En este sentido, la aplicación de ZnO NPs en plantas de trigo aumentó la tasa de fotosíntesis y producción de clorofila, aumentando el rendimiento de la cosecha (Ittroutwar

*et al.*, 2020). En el cultivo de maíz aumentó la resistencia a la sequía y la producción de antioxidantes, aumentando el rendimiento de la cosecha (Seleiman *et al.*, 2023).

Las ZnO NPs han demostrado tener efectos beneficiosos en la germinación de semillas aumentando la tasa de germinación, la longitud de la raíz y producción de antioxidantes en alfalfa y trigo (Itroutwar *et al.*, 2020).

Las nanopartículas de óxido de magnesio (MgO NPs) han demostrado tener efectos beneficiosos en las plantas; promueven el crecimiento y mejoran de la tolerancia a la salinidad, Esto debido a que estimulan la división celular y elongación de las raíces, mejorando la absorción de nutrientes y agua. también se ha demostrado aumentar la producción de clorofila mejorando la fotosíntesis (Cai *et al.*, 2018).

Un ejemplo de cómo las MgO NPs han sido utilizadas en la agricultura es en el cultivo de tomate ya que la aplicación de NP indujo resistencia a la enfermedad del tizón y la producción de antioxidantes, lo que resultó en un aumento en el rendimiento de la cosecha (Takehara *et al.*, 2023). En plantas de pepino aumentó la tolerancia a la salinidad y la producción de clorofila, aumentando el rendimiento de la cosecha (Adjei *et al.*, 2021).

Además, las MgO NPs han demostrado tener efectos beneficiosos en la germinación de semillas aumentando la tasa de germinación y la longitud de la raíz de alfalfa (Cai *et al.*, 2018), en semillas de trigo aumentó la tasa de germinación y la producción de antioxidantes (Itroutwar *et al.*, 2020).



### **III. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar los efectos de las nanopartículas de óxido de Zinc y óxido Magnesio en el pasto Mulato II

#### **3.2 Objetivos específicos**

Evaluar el crecimiento del pasto mulato II tratado con nanopartículas de óxido de Zinc y óxido Magnesio

Estimar el valor nutritivo del pasto Mulato II tratado con nanopartículas de óxido de Zinc y óxido Magnesio.

### **IV. Hipótesis**

La inclusión de nanopartículas en pastos forrajeros mejora el crecimiento, los procesos fisiológicos y el valor nutricional

## V. Resultados

### 5.1 Evaluación de nanopartículas de ZnO/MgO en el crecimiento y nutrición del pasto Mulato II

#### Evaluación de nanopartículas de ZnO/MgO en el crecimiento y nutrición del pasto Mulato II

#### Evaluation of ZnO/MgO nanoparticles on the growth and nutrition of Mulato II grass

Hugo Cruz-González<sup>1</sup> (<https://orcid.org/0009-0008-5441-4299>), Wel Olveín Cruz-Macías<sup>1</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-0472-8755>), Miguel Ángel Salas-Marina<sup>1</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-0477-3572>), Vicente Pérez-Madriral<sup>1\*</sup> (<https://orcid.org/0000-0002-1486-5609>)

<sup>1</sup>Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Carretera Villacorzo-ejido monterrey km 3. CP. 30520, Chiapas, México.

\*Autor de correspondencia: [vicente.perez@unicach.mx](mailto:vicente.perez@unicach.mx)

#### Artículo científico

Recibido: xx de xxx 202x

---

Aceptado: xx de xxx 202x

#### RESUMEN.

El objetivo de esta investigación fue evaluar diferentes concentraciones de nanopartículas de ZnO/MgO sobre parámetros de crecimiento (altura de la planta, número de hojas, número de hijuelos, longitud de la raíz) y fisiológicos (fluorescencia de la clorofila y contenido de clorofila a+b) del pasto Mulato II. La estructura de las nanopartículas fue determinada por difracción de rayos X, las cuales mostraron estructura cubica para el MgO y hexagonal para el ZnO. Estas estructuras influyeron en la funcionalidad de las nanopartículas y su impacto en el desarrollo vegetal, y un impacto positivo en el crecimiento del pasto Mulato II, mejorando la altura de la

planta, número de hojas, número de hijuelos y longitud de la raíz. Los análisis bromatológicos revelaron que los pastos tratados con nanopartículas presentaron valores similares a los reportados en la literatura para pastos de trópico. En general, los resultados sugieren que la aplicación de nanopartículas de ZnO puede ser una estrategia efectiva para mejorar el crecimiento y la nutrición del pasto Mulato II.

**Palabras clave:** Heteroestructuras, Nanopartículas de ZnO, Nanopartículas de MgO, Nanofertilizantes.

## **ABSTRACT.**

The objective of this research was to evaluate different concentrations of ZnO/MgO nanoparticles on growth parameters (plant height, number of leaves, number of tillers, root length) and physiological parameters (chlorophyll fluorescence and chlorophyll a+b content) of Mulato II grass. The structure of the nanoparticles were determined by X-ray diffraction, which showed a cubic structure for MgO and a hexagonal structure for ZnO. These structures influenced the functionality of the nanoparticles and their impact on plant development, having a positive effect on the growth of Mulato II grass by improving plant height, number of leaves, number of tillers, and root length. Bromatological analyses revealed that grasses treated with nanoparticles presented values similar to those reported in the literature for tropical grasses. Overall, the results suggest that the application of ZnO nanoparticles may be an effective strategy to improve the growth and nutrition of Mulato II grass.

**Key words:** Heterostructures, ZnO Nanoparticles, MgO Nanoparticles, Nanofertilizers.

## **INTRODUCCIÓN**

La agricultura es un sector fundamental en la economía de muchos países, y la búsqueda de métodos innovadores para mejorar la productividad y la sostenibilidad es una prioridad (Salas *et al.*, 2020). La ganadería en México se sustenta en gran medida en los pastos forrajeros como principal fuente de alimento para el ganado (Maldonado *et al.*, 2021). La calidad nutricional de estos pastos es fundamental para satisfacer las necesidades de los animales en términos de mantenimiento, crecimiento y reproducción (Coleman, 2003).

En este contexto, la capacidad de los pastos forrajeros para garantizar las exigencias nutritivas de los animales es un aspecto crítico que determina la eficiencia y sostenibilidad de la ganadería (Maldonado *et al.*, 2021). Por ello, Los productores buscan pastos forrajeros de rápido crecimiento, adaptabilidad a diferentes climas y suelos, y alta calidad nutricional (Angulo *et al.*, 2022). Aunque es posible encontrar especies criollas, variedades o híbridos de pastos que se adapten a diferentes condiciones climáticas y produzcan abundante forraje, esto no garantiza necesariamente que

satisfagan las necesidades nutricionales de los animales en las unidades de producción. En respuesta a este desafío, se han realizado investigaciones en los últimos años con el objetivo de mejorar los pastos forrajeros, enfocándose en la creación de nuevas cruza de pastos nativos con pastos introducidos (Zaragoza *et al.*, 2021). Esta aproximación busca combinar las características deseables de diferentes especies para producir pastos forrajeros más eficientes y nutritivos cita.

En este sentido, la nanotecnología ha surgido como una herramienta prometedora para mejorar el crecimiento y la nutrición de las plantas (Colonia *et al.*, 2013). Específicamente, las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y óxido de magnesio (MgO) han demostrado tener un impacto positivo en el crecimiento y la nutrición de varios cultivos (Navarro *et al.*, 2021). El pasto Mulato II es una especie forrajera importante en muchas regiones del mundo, y su productividad y calidad son fundamentales para la industria ganadera. Sin embargo, el crecimiento y la nutrición de este pasto pueden ser limitados por factores como la disponibilidad de nutrientes, el estrés ambiental y las enfermedades (Sossa y Barahona, 2015). En este sentido, la aplicación de nanopartículas de ZnO y MgO puede ser una estrategia efectiva para mejorar el crecimiento y la nutrición de este pasto.

La investigación en nanotecnología aplicada a la agricultura es un campo en constante evolución, y existen varios estudios que han evaluado el impacto de las nanopartículas en el crecimiento y la nutrición de varios cultivos (Rajput *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2023). Sin embargo, es importante realizar más investigaciones para determinar la dosis óptima y la frecuencia de aplicación de estas nanopartículas para obtener los mejores resultados.

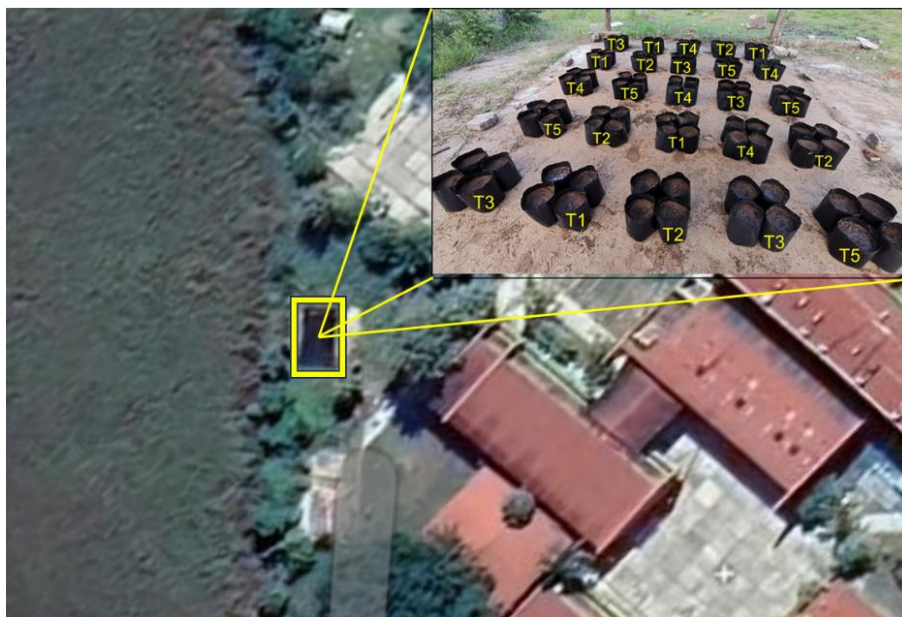
La aplicación de nanopartículas de ZnO y MgO en la agricultura es una tecnología innovadora que puede mejorar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos. La investigación en este campo es fundamental para determinar la dosis óptima y la frecuencia de aplicación de estas nanopartículas para obtener los mejores resultados. Además, es importante evaluar el impacto de estas nanopartículas en la calidad nutricional de los cultivos.

En este sentido, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las nanopartículas de ZnO y MgO en el crecimiento y la nutrición del pasto Mulato II. Se evaluaron varios parámetros, incluyendo la altura de la planta, el número de hojas, el número de hijuelos, la longitud de la raíz, la fluorescencia de la clorofila y el contenido de clorofila a+b. Además, se realizaron análisis bromatológicos para evaluar la calidad nutricional del pasto.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del área de estudio**

El experimento se desarrolló en Villa Corzo, Chiapas, en las coordenadas: latitud 16.162824° y longitud -93.277795° (Imagen 1).



**Figura 1.** Ubicación del área experimental

### **Establecimiento del experimento**

Para la siembra del pasto, se utilizaron bolsas de polietileno con dimensiones de 35 x 35 cm, las cuales se llenaron con suelo aluvial. Posteriormente, se colocó una semilla de pasto Mulato II (*Brachiaria híbrido* CIAT 36087, Papalotla<sup>®</sup>) en el centro de cada bolsa.

### **Síntesis de las nanopartículas**

La síntesis de ZnO y MgO se llevó a cabo mediante el método sol-gel, utilizando  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Fermont) y  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Fermont) como precursores. Para la síntesis de ZnO, se preparó

una solución 0.29 M de  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{CH}_3\text{OH}$  (Meyer) y se agitó a temperatura ambiente hasta alcanzar un pH de 4. De manera paralela, se elaboró una solución 0.5 M de NaOH (Fermont) en agua destilada, empleando un baño ultrasónico para facilitar la disolución. La solución de NaOH, actuando como agente precipitante, se añadió lentamente por goteo a la solución de nitrato de zinc. Una vez que el pH alcanzó 12, la mezcla se dejó en reposo durante 20 horas. Posteriormente, el producto se lavó y centrifugó tres veces para eliminar el exceso de agua. El material obtenido se secó a 50°C en un horno mufla (Thermo Scientific) durante 15 horas y luego se calcinó a 500°C durante 2 horas, obteniendo así el polvo de ZnO. Para la síntesis de MgO, se preparó una solución 0.02 M de  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , agregando por goteo lento  $\text{NH}_4\text{OH}$  (Sigma Aldrich) hasta alcanzar y mantener un pH de 10. La solución se mantuvo en agitación constante a 50°C durante 3 horas. Posteriormente, el precipitado fue centrifugado y lavado con agua desionizada. El polvo obtenido se secó a 100°C durante 2 horas y, finalmente, se calcinó a 500°C durante 1 hora.

### **Difracción de rayos X**

La caracterización estructural de las nanopartículas se llevó a cabo mediante difracción de rayos X. Los patrones observados se obtuvieron mediante un difractómetro Rigaku Ultima IV, operado a 40 kV y mA en geometría Bragg-Brentano. Los patrones se recolectaron en un rango de 20° a 80° en 2 $\theta$ , con un tamaño de paso de 0.02° y una velocidad de 0.2° por minuto

### **Tratamientos**

Para los tratamientos se utilizaron diferentes concentraciones de ZnO y MgO (T1-(0%ZnO-0%MgO), T2- (85% ZnO-15% MgO), T3- (90% ZnO -10% MgO), T4- (95% ZnO-5% MgO) y T5- (100% ZnO), y caracterizados a través de difracción de rayos X para realizar la cuantificación de fases de cada elemento.

### **Aplicación de Nanopartículas**

Para la preparación de las soluciones de las nanopartículas se utilizó un baño ultrasónico (Fisher Scientific EDP CPX-962-218R), en el cual se diluyeron 50 mg de nanopartículas en un litro de agua destilada durante 20 minutos. Las nanopartículas se aplicaron de manera foliar con atomizadores, a una dosis de 1 ml por planta. La primera aplicación se realizó a los 30 días después de la germinación y posteriormente cada 7 días nte tres meses.

### **Crecimiento del pasto**

Para evaluar el crecimiento, se consideraron las variables: altura, longitud de raíz, número de hojas y número de hijuelos, cada siete días después de la primera aplicación de los tratamientos.

## **Análisis de FT-IR**

Los análisis FT-IR se realizaron en un espectrofotómetro Thermo Scientific modelo NICOLET IS50 FT-IR, operado en modo de transmitancia con el accesorio ATR con punto de diamante. Las mediciones se realizaron en el rango de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$  durante 32 escaneos.

## **Florescencia de la clorofila a+b**

La fluorescencia de la clorofila se midió utilizando un fluorómetro (OPTI-SCIENCES) y un clorofilómetro (APOGEE INSTRUMENTS MC-100) a los 81 días después de la primera aplicación de las nanopartículas. Las mediciones se realizaron a las 12:00 horas, momento en el que el proceso fotosintético es más estable.

## **Análisis bromatológico**

Se tomó una muestra representativa de cada tratamiento y se enviaron al laboratorio del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Para el análisis de proteína cruda (PC) se sometió a digestión durante 100 minutos a 377°C, seguida de destilación con ácido bórico al 1% y una mezcla de catalizadores, y finalmente, titulación con una solución de ácido sulfúrico 0,051N. El extracto etéreo (EE) se determinó por extracción con éter de petróleo durante 8 horas. La fibra detergente neutra (FDN) se analizó mediante digestión con una solución detergente neutra utilizando un equipo Labconco y posterior filtración en crisol Gooch. La fibra detergente ácida (FDA) se evaluó mediante digestión con solución detergente ácida en el mismo equipo, seguida de filtración en crisol Gooch.

## **Diseño experimental y Análisis Estadístico**

Se utilizó el diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones tomando como unidad experimental a una planta. Los datos fueron analizados con el software ESTATISTICA y las variables que presentaron diferencias estadísticas se aplicó la prueba de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

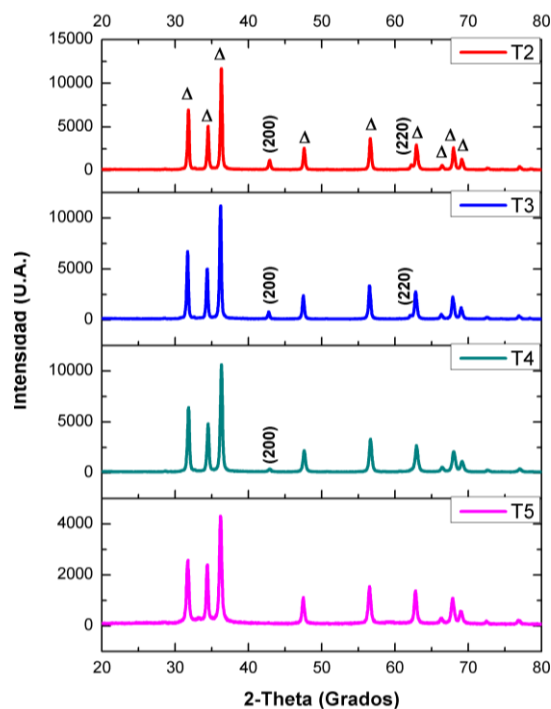
# **RESULTADOS**

## **Difracción de rayos X para caracterización de las nanopartículas**

Los nanomateriales presentaron diferentes patrones de difracción. El ZnO (T5) presentó picos de difracción a 31.77°, 34.42°, 36.26°, 47.54°, 56°, 62.86°, 66.38°, 67.96°, 69.1°, 72.56° y 76.95°

respectivamente, característicos de una estructura hexagonal. Las muestras T2, T3 y T4, además de los picos observados en (T5), se detectaron picos adicionales a  $42.96^\circ$  y  $62.37^\circ$ , correspondientes a una estructura cúbica, atribuida al MgO (Figura 2).

La cuantificación de fases se llevó a cabo mediante el método de Rietveld, obteniéndose las siguientes composiciones: 100% ZnO para la muestra T5, 94.2% ZnO / 5.8% MgO para T4, 89.4% ZnO / 10.6% MgO para T3 y 85.6% ZnO / 14.4% MgO para T2. Estos resultados evidencian una adecuada incorporación de MgO al ZnO para ser utilizados como nanopartículas.



**Figura 2.** Difractograma de las nanopartículas. T5 100 % ZnO presenta una estructura hexagonal y pureza; T2-(85.5 % ZnO y 15 % MgO), T3- (90% ZnO y 10% MgO), T4- (95% ZnO y 5% MgO)

### Efecto de nanopartículas de ZnO en el pasto mulato

Se encontró que las plantas bajo el tratamiento T4 (95% ZnO-5% MgO), las que presentaron una altura media de 64.7 cm comparado con el control T1-53.75 cm (Tabla 1). Para la variable número de hojas únicamente las plantas bajo el tratamiento T5- 100 % de ZnO fueron superior al control con una media de 63.8 hojas (Table 1). En el número de hijuelos no se encontraron diferencias significativas, por lo que las nanopartículas de Zn y Mg no modifican el genotipo de estas plantas.



En la variable longitud de raíz todas las plantas tratadas con las nanopartículas presentaron valores más altos que el control destacando como el mejor tratamiento T5-100% ZnO con una media de 74.4 cm (Tabla 1)

**Tabla 1.** Efecto de las diferentes concentraciones de nanopartículas en el crecimiento del pasto.

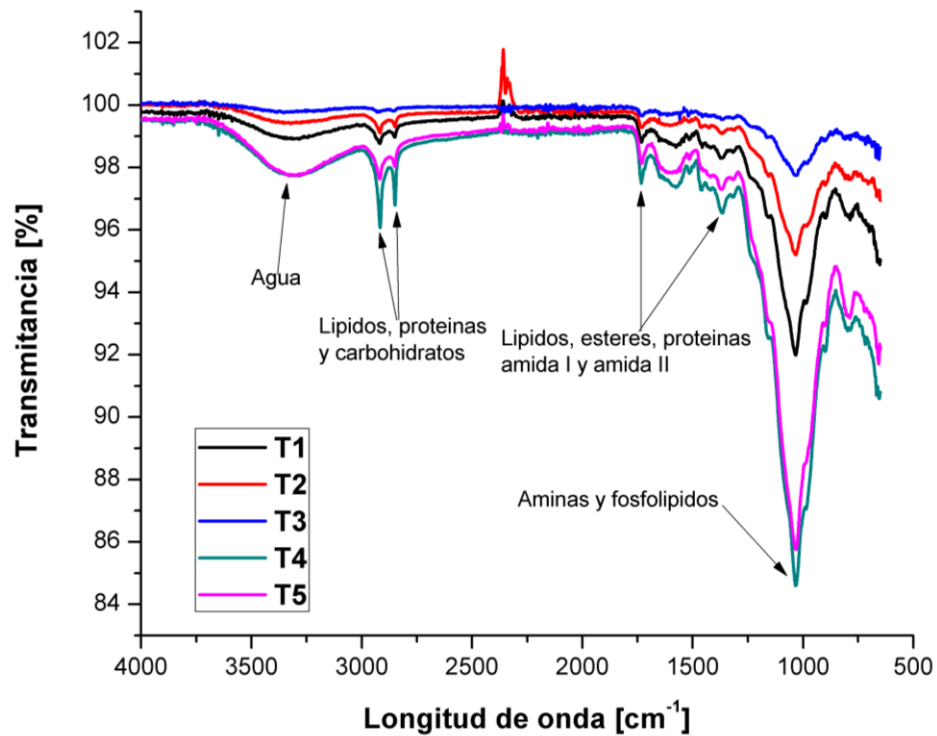
| Tratamiento         | Altura de la Planta (cm) | Numero de Hojas    | Numero de Hijuelos  | Longitud de Raíz (cm) |
|---------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| T1                  | 61.75 <sup>B</sup>       | 53.60 <sup>B</sup> | 14.20 <sup>AB</sup> | 50.40 <sup>D</sup>    |
| T2                  | 53.75 <sup>D</sup>       | 48.60 <sup>C</sup> | 12.00 <sup>B</sup>  | 56.20 <sup>C</sup>    |
| T3                  | 58.31 <sup>C</sup>       | 47.00 <sup>C</sup> | 12.60 <sup>B</sup>  | 64.40 <sup>B</sup>    |
| T4                  | 64.70 <sup>A</sup>       | 54.00 <sup>B</sup> | 13.60 <sup>AB</sup> | 54.60 <sup>CD</sup>   |
| T5                  | 57.05 <sup>C</sup>       | 63.80 <sup>A</sup> | 15.80 <sup>A</sup>  | 74.40 <sup>A</sup>    |
| Valor de P          | 0                        | 0                  | 0.004               | 0                     |
| Error Estándar      | 0.8122                   | 1.244              | 0.3736              | 1.816                 |
| Desviación Estándar | 4.061                    | 6.22               | 1.868               | 9.08                  |

Los resultados del ANOVA para las variables altura, longitud de la raíz, número de hojas y número de hijuelos presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ).

## FT-IR del pasto mulato II

La caracterización bioquímica del pasto mulato tratado con diferentes dosis de nanopartículas de ZnO y MgO reflejaron alteraciones en algunos indicadores. Todos los tratamientos presentaron los mismos patrones de espectros FTIR, asignados a grupos moleculares de lípidos, proteínas, carbohidratos y ácidos grasos (Figura 3).

Las plantas tratadas con las concentraciones más altas de ZnO T4- (95% ZnO-5% MgO) y T5- (100% ZnO) fueron las que presentaron un patrón del espectro diferente al control, en los picos de las diferentes moléculas bioquímicas detectadas (agua, lípidos, proteínas y carbohidratos) (Figura 2).

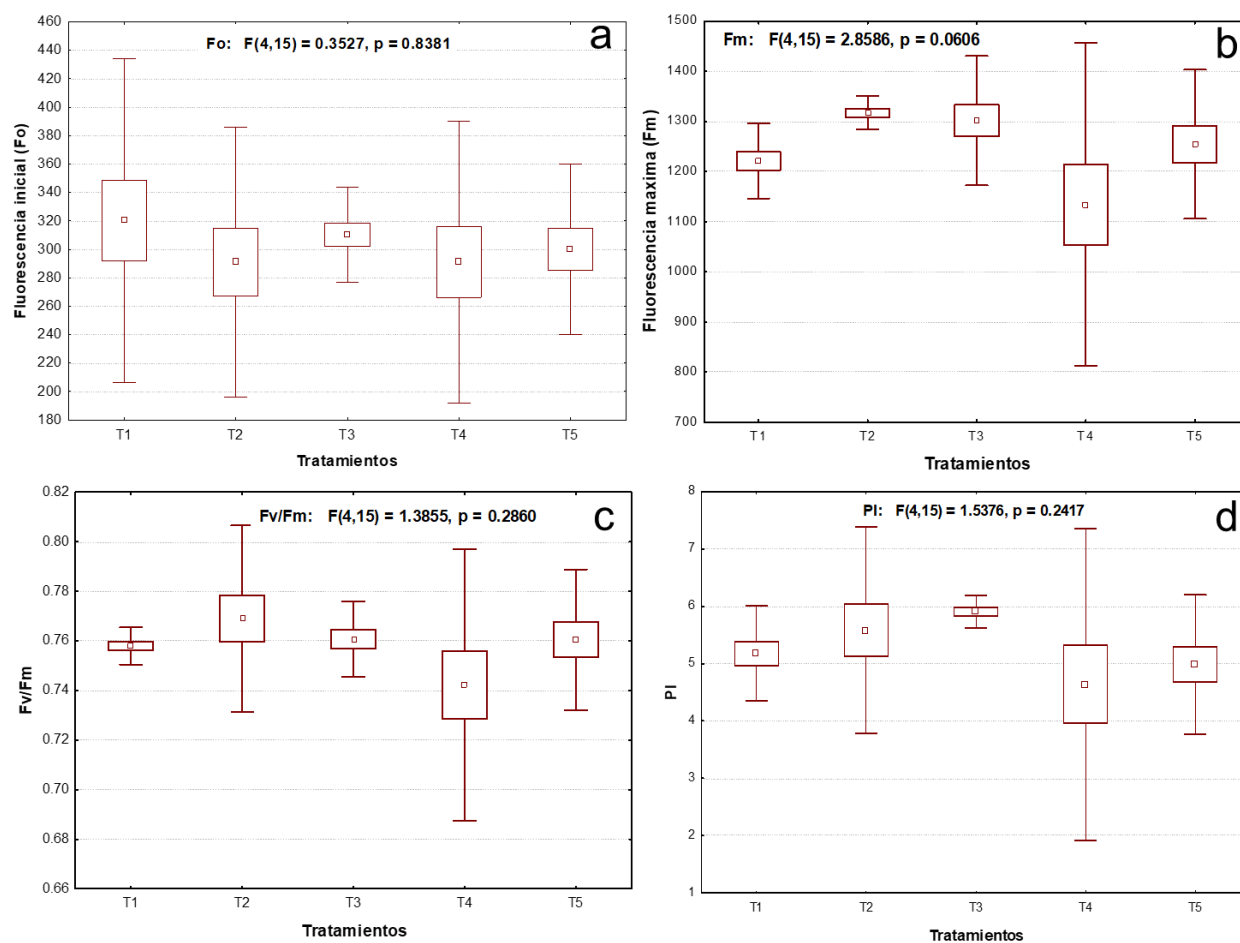


**Figura 3.** FT-IR de plantas de pasto mulato tratada con diferentes dosis de nanofertilizantes.

### Fluorescencia y Clorofila a+b

Los resultados obtenidos del ANOVA sobre la fluorescencia inicial ( $F_o$ ), fluorescencia máxima ( $F_m$ ), fluorescencia variable ( $F_v$ ), fluorescencia variable sobre máxima ( $F_v/F_m$ ), índice de rendimiento fotosintético ( $PI$ ) y clorofila a+b son los siguientes:

Para las variables  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v/m$  y  $PI_{no}$  presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. En el caso de  $F_o$  ( $P = 0.838$ ), para  $F_m$  ( $P = 0.061$ ), de manera similar,  $F_v/m$  ( $P = 0.286$ ), Finalmente,  $PI$  ( $P = 0.242$ ), indicando que ningún tratamiento fue relevante para estas variables (Figura 4a, 4b, 4c y 4d).

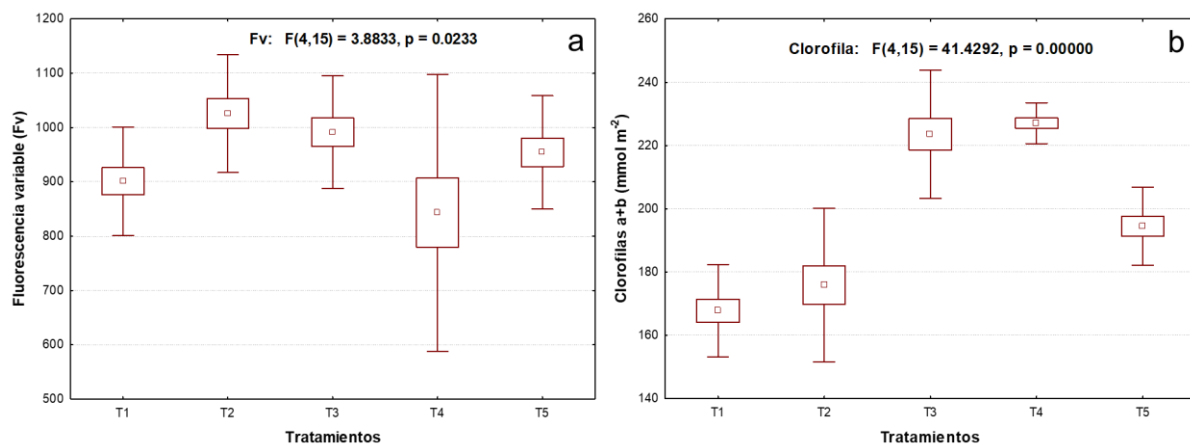


**Figura 4.** Fluorescencia de la clorofila. a) Fluorescencia inicial, b) Fluorescencia máxima, c) Fv/Fm y d) PI.

Las variables Fv y Clorofila a+b se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Para Fv, ( $P = 0.023$ ), destacándose el tratamiento T2 con la media más alta de 1025.75, mientras que T4 con una media de 843.00 mostró un valor significativamente menor, y los demás tratamientos quedaron en un rango intermedio. En cuanto a Clorofila a+b ( $P = 0.000$ ), en este caso, los tratamientos T4 y T3 presentaron las medias más altas de 227.050 y 223.550  $\mu\text{g/g}$ , seguidos por T5 con una media de 194.475  $\mu\text{g/g}$ , mientras que T2 y T1 con medias de 175.850 y 167.725  $\mu\text{g/g}$ .

mostraron valores significativamente menores, reflejando un impacto claro y diferenciado en el contenido de clorofila (Figura 5a y 5b).

**Figura 5.** Fluorescencia de la clorofila. a) Fluorescencia variable y b) Clorofila a+b



### Análisis bromatológico (FDN, FDA, PC y EE)

Los resultados del análisis bromatológico se observan variaciones numéricas entre los parámetros evaluados, en lo que respecta FDN se encontraron valores entre 71.64% (T1) y 69.44% (T5). Entre más bajo sea el valor sugiere una mayor digestibilidad para los rumiantes, ya que se asocia con menores porcentajes de celulosa y lignina, y mayores contenidos de proteínas, carbohidratos solubles y minerales. Esta combinación de características suele estar relacionada con una mayor digestibilidad y un mayor contenido de nutrientes disponibles para el animal (Tabla 2).

Los resultados para FDA presentaron variaciones numéricas, que se encuentran entre 44.318% (T2) y 41.358% (T5). Entre más bajo sea el valor sugiere una mayor digestibilidad y un mayor contenido de nutrientes disponibles para el animal y al presentar valores más altos indicar una mayor proporción de lignina y celulosa, lo que suele estar asociado con una menor digestibilidad y un menor contenido de nutrientes disponibles para el animal (Tabla 2).

En cuanto al contenido de PC los valores varían entre 19.350% (T5) y 17.223% (T3) lo que indica el valor más alto es una mayor proporción de proteínas de alta calidad en el pasto y se asocia a una mayor disponibilidad de aminoácidos esenciales para el animal (Tabla 2).

Finalmente, en cuanto al contenido de EE, el T3 presentó el valor de 1.268%, esto puede indicar una mayor proporción de grasas y aceites en el pasto esto suele estar asociados con una mayor energía disponible para el animal, mientras que el T4 mostró una disminución en el contenido graso, con un valor de 0.951% (Tabla 2).

**Tabla 2.** Efecto de las nanopartículas en el valor nutricional del pasto Mulato II.

| Tratamiento | FDN(%) | FDA (%) | Proteína Cruda (%) | Extracto Etéreo (%) |
|-------------|--------|---------|--------------------|---------------------|
| T1          | 71.647 | 43.417  | 19.263             | 1.2261              |
| T2          | 69.625 | 44.318  | 18.815             | 1.1873              |
| T3          | 70.255 | 43.978  | 17.223             | 1.2686              |
| T4          | 71.166 | 42.124  | 18.056             | 0.9512              |
| T5          | 69.444 | 41.358  | 19.35              | 1.1199              |

## DISCUSIÓN

### Difracción de rayos X para caracterización de las nanopartículas

Los resultados obtenidos mediante difracción de rayos X evidenciaron que los tratamientos aplicados presentan estructuras cristalinas diferenciadas asociadas a la naturaleza química de las nanopartículas. El óxido de zinc (ZnO) mostró una estructura cristalina hexagonal tipo wurtzita, mientras que el óxido de magnesio (MgO) presentó una estructura cúbica tipo periclase. Estas configuraciones estructurales han sido reportadas previamente como factores clave en la reactividad superficial, solubilidad y biodisponibilidad de los nanomateriales aplicados en sistemas agrícolas.

La correlación entre estas estructuras y los parámetros agronómicos fue significativa. En cuanto a la altura de planta, el tratamiento T4 (50 % ZnO / 50 % MgO) mostró el mayor efecto, lo cual sugiere que una estructura mixta hexagonal-cúbica puede favorecer un equilibrio en la liberación de nutrientes y una sinergia en la absorción de  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , elementos esenciales para la elongación celular y la actividad enzimática. Por otro lado, el tratamiento T5 (100 % ZnO) fue el que presentó los mejores resultados en número de hojas, hijuelos y longitud radicular, parámetros directamente asociados a la generación de biomasa. Este efecto podría atribuirse a la predominancia de la estructura hexagonal de ZnO, la cual, debido a su alta relación superficie-volumen y su eficiencia en la liberación de  $\text{Zn}^{2+}$ , favorece procesos metabólicos asociados al crecimiento vegetativo, enraizamiento y desarrollo foliar (Martinez *et al.*, 2023 y Suresh *et al.*, 2018).

En cuanto a los parámetros fisiológicos, los tratamientos T3 y T4, con una mayor proporción de MgO, evidenciaron mayores contenidos de clorofila total (a + b). Este resultado sugiere que el  $\text{Mg}^{2+}$ , componente central de la molécula de clorofila, incrementó la capacidad fotosintética de las plantas tratadas. Adicionalmente, el tratamiento T2 (100 % MgO) mostró la mayor eficiencia en

fluorescencia de clorofila, lo que indica un efecto positivo sobre la eficiencia cuántica del fotosistema II. Aunque este tratamiento no generó un crecimiento vegetativo superior, sí promovió una mejora en el rendimiento fisiológico, especialmente bajo condiciones de estrés moderado, posiblemente por el papel del Mg en la estabilización de los tilacoides y el transporte de electrones (Ahmed *et al.*, 2023).

Estos hallazgos resaltan la importancia de la estructura cristalina en la funcionalidad de las nanopartículas y su impacto específico sobre diferentes aspectos del desarrollo vegetal, desde crecimiento morfológico hasta procesos fisiológicos finos.

### **Crecimiento del pasto**

El crecimiento del pasto mulato II se vio significativamente mejorado por las nanopartículas de ZnO y MgO, especialmente en la altura de la planta, lo que se relaciona con la estimulación de la auxina y el crecimiento celular, según estudios similares realizados por Awan *et al.*, (2021) y Wang *et al.*, (2023). Además, las nanopartículas de ZnO favorecieron el crecimiento del número de hojas, lo que se atribuye a su capacidad para estimular la producción de hormonas vegetales, como se observó en estudios de Wang *et al.* (2023) en plantaciones de Ginkgo biloba. Asimismo, las nanopartículas de ZnO promovieron significativamente el rebrote en el número de hijuelos, lo que es consistente con los resultados de Tejeda *et al.* (2023) en plantaciones de tomate. Finalmente, las nanopartículas de ZnO estimularon el crecimiento radicular del pasto mulato II, mejorando la absorción de nutrientes esenciales y aumentando la eficiencia del uso del agua, lo que se alinea con los hallazgos de Wang *et al.* (2023) en plantaciones de Ginkgo biloba.

### **Análisis FT-IR**

La caracterización estructural mediante espectroscopía FTIR permitió confirmar la presencia de grupos funcionales característicos de los óxidos metálicos aplicados. En los espectros correspondientes a los tratamientos T2–T5, se identificó una banda en torno a los 560 cm<sup>-1</sup>, atribuida a las vibraciones de estiramiento del enlace Zn–O, así como otra banda próxima a los 680 cm<sup>-1</sup> correspondiente al enlace Mg–O. Estos resultados estructurales se correlacionan con el mayor desarrollo radicular y la acumulación de biomasa observados en los tratamientos T4 y T5, lo cual podría estar relacionado con la capacidad de estas estructuras metálicas para liberar nutrientes de manera lenta y sostenida, favoreciendo el crecimiento vegetal a nivel foliar y subterráneo. Adicionalmente, se detectó una banda ancha centrada alrededor de 3440 cm<sup>-1</sup>, asociada a las vibraciones del grupo funcional O–H, indicativa de la presencia de agua adsorbida o grupos hidroxilos superficiales, estos grupos son relevantes para la reactividad superficial de las nanopartículas, ya que facilitan las interacciones con el suelo o los tejidos vegetales y promueven la liberación iónica de Zn<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, elementos clave en procesos metabólicos

relacionados con el crecimiento y vigor vegetal. Su presencia puede explicar en parte el efecto positivo observado en los tratamientos con mayor concentración de MgO (Saied *et al.*, 2023).

Por otra parte, la banda registrada en la región de  $1630\text{ cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones de flexión del grupo H–O–H, lo que indica la posible presencia de agua estructural o humedad residual, característica común en nanomateriales con alta capacidad de adsorción (Gao *et al.*, 2017). Finalmente, la presencia de señales en el intervalo de  $1400\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$  podría estar asociada a carbonatos vinculados a materia orgánica del sustrato o a procesos de carbonatación superficial (Podobiński *et al.*, 2024). Este tipo de grupos funcionales puede contribuir a la estabilización química del nanofertilizante, además de actuar como agentes amortiguadores del pH, facilitando la interacción de los micronutrientes con el entorno biológico de manera más eficiente.

### **Fluorescencia y Clorofila a+b**

La ausencia de diferencias estadísticas significativas en las variables relacionadas con la fluorescencia inicial, máxima y variable ( $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v/m$  y  $PI$ ) entre los tratamientos sugiere que estos no tuvieron un impacto significativo en la actividad fotosintética basal. Esto se relaciona con estudios previos donde se analizaron 44 especies de plantas vasculares donde se encontró que la fluorescencia de la clorofila es un indicador sensible de la actividad fotosintética, pero que puede ser influenciada por factores como la intensidad de la luz y la temperatura (Björkman y Demmig, 1987). Por otro lado, la presencia de diferencias estadísticas significativas en la fluorescencia variable ( $F_v$ ) y el contenido de clorofila a+b entre los tratamientos sugiere que estos tuvieron un impacto significativo en la actividad fotosintética y el crecimiento de las plantas. Esto está relacionado con estudios previos realizados por Lichtenthaler, 1987, donde mencionan que la fluorescencia variable es un indicador de la actividad fotosintética y que el contenido de clorofila es un indicador de la salud y el crecimiento de las plantas (Lichtenthaler, 1987; Gitelson *et al.*, 2003).

En conjunto, estos resultados sugieren que la evaluación de la fluorescencia variable y el contenido de clorofila pueden ser herramientas útiles para monitorear y optimizar el crecimiento de las plantas.

### **Análisis bromatológico**

La adición de nanopartículas de ZnO y MgO en diferentes concentraciones pudo haber afectado la calidad nutricional del pasto. En particular, se observó que la adición de ZnO mejoró la disponibilidad de nutrientes en el pasto, ya que presentó los menores niveles de FDN y FDA, lo que se refleja en una mayor proporción de componentes no fibrosos y fibrosos degradables, resultados que son similares a los de Mertens (2002) y Jung *et al.* (1997). Sin embargo, la adición de MgO puede haber tenido un efecto negativo en la síntesis de proteínas en el pasto, lo que se

refleja en una disminución en el contenido proteico en algunos tratamientos, lo que se relaciona con los resultados de Vazquez (2023) donde evaluó diversos nanomateriales en diferentes cultivos agrícolas. En resumen, los resultados sugieren que la adición de nanopartículas de ZnO puede haber mejorado la disponibilidad de nutrientes en el pasto, mientras que la adición de MgO puede haber tenido un efecto negativo en la síntesis de proteínas.

## **CONCLUSIONES**

La aplicación de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y óxido de magnesio (MgO) en el pasto Mulato II demostró tener un impacto positivo en su crecimiento y nutrición. Los resultados mostraron que la combinación de ZnO y MgO en diferentes proporciones puede influir en la altura de la planta, número de hojas, número de hijuelos y longitud de la raíz.

La evaluación de la fluorescencia de la clorofila y el contenido de clorofila a+b también mostró diferencias significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que las nanopartículas pueden influir en la fotosíntesis y la producción de clorofila.

Los análisis bromatológicos revelaron que los pastos tratados con nanopartículas presentaron valores similares a los reportados en la literatura para pastos de trópico, con respecto a la fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE).

En general, los resultados de este estudio sugieren que la aplicación de nanopartículas de ZnO y MgO puede ser una estrategia efectiva para mejorar el crecimiento y la nutrición del pasto Mulato II, y potencialmente otros pastos forrajeros. Sin embargo, es importante realizar más investigaciones para determinar la dosis óptima y la frecuencia de aplicación de estas nanopartículas para obtener los mejores resultados.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a Luis Alfredo Rodríguez Larramendi, José Francisco Pola Albores, Didier Santiago Salazar y al Laboratorio de Materiales y Procesos Sustentables (LAMPSUS)

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## **LITERATURA CITADA**



- Angulo-Arizala, J., Nemocón-Cobos, A. M., Posada-Ochoa, S. L., & Mahecha-Ledesma, L. (2022). Producción, calidad de leche y análisis económico de vacas holstein suplementadas con ensilaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) o ensilaje de maíz. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1). <https://doi.org/10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1535>
- Ahmed, N., Zhang, B., Bozdar, B., Chachar, S., Rai, M., Li, J., Li, Y., Hayat, F., Chachar, Z., & Tu, P. (2023). The power of magnesium: unlocking the potential for increased yield, quality, and stress tolerance of horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1285512. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1285512>
- Awan, S., Shahzadi, K., Javad, S., Tariq, A., Ahmad, A., Ilyas, S. (2021). A preliminary study of influence of zinc oxide nanoparticles on growth parameters of *Brassica oleracea* var *italica*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(1), 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.10.003>
- Björkman, O., & Demmig, B. (1987). Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170(4), 489–504. <https://doi.org/10.1007/BF00402983>
- Coleman, S. W., & Moore, J. E. (2003). Feed quality and animal performance. *Field Crops Research*, 84(1-2), 17-29. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00138-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00138-2)
- Colonia, R., Martinez, V. C., Solís, J. L., & Gómez, M. M. (2013). Síntesis y caracterización estructural y morfológica de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> asistido con UV para aplicaciones bactericidas. *Tecnia*, 23(1). <http://doi.org/10.21754/tecnia.v23i1.63>
- Gao, Y., Zhang, Y., Wang, X., Sim, K., Liu, J., Chen, J., Feng, X., Xu, H., & Yu, C. (2017). Moisture-triggered physically transient electronics. *Science Advances*, 3(9), e1701222. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701222>
- Gitelson, A. A., Gritz, Y., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of plant physiology*, 160(3), 271–282. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>
- Jung, H. G., Mertens, D. R., & Payne, A. J. (1997). Correlation of acid detergent lignin and Klason lignin with digestibility of forage dry matter and neutral detergent fiber. *Journal of dairy science*, 80(8), 1622–1628. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76093-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76093-4)

- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Maldonado-Quñones, H., Carrete-Carreón, F. O., Reyes-Estrada, O., Sánchez-Arroyo, J. F., Murillo-Ortiz, M., & Araiza-Rosales, E. E. (2021). Rendimiento y valor nutricional del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) a diferentes edades. *Revista fitotecnia mexicana*, 44(2). <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.143>
- Martínez-Pacheco, C., Del Ángel-Meraz, E., & Díaz-Flores, L. L. (2023). Las nanoestructuras de ZnO y sus aplicaciones como sensor de gas H<sub>2</sub>S. *CienciaUAT*, 17(2). <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v17i2.1632>
- Mertens, David & Allen, Michael & Carmany, J. & Clegg, J. & Davidowicz, A. & Drouches, M. & Frank, K. & Gambin, D. & Garkie, M. & Gildemeister, B. & Jeffress, D. & Jeon, C-S & Jones, D. & Kaplan, D. & Kim, G-N & Kobata, S. & Main, Dorrie & Moua, X. & Paul, B. & Wolf, M.. (2002). Gravimetric Determination of Amylase-Treated Neutral Detergent Fiber in Feeds with Refluxing in Beakers or Crucibles: Collaborative Study. *Journal of AOAC International*. <https://doi.org/10.1093/jaoac/85.6.1217>
- Navarro-Espinoza, S., Meza-Figueroa, D., Soto-Puebla, D., Castañeda, B., & Pedroza-Montero, M. (2021). Nanopartículas: Efectos en la salud humana y el medio ambiente. *Epistemos*, 15(30). <https://doi.org/10.36790/epistemos.v15i30.166>
- Podobiński, J., & Datka, J. (2024). Propiedades básicas de ZnO, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MgO: estudios cuantitativos de IR. *Catalysts*, 14(2), 106. <https://doi.org/10.3390/catal14020106>
- Rajput, V. D., Minkina, T. M., Behal, A., Sushkova, S. N., Mandzhieva, S., Singh, R., Gorovtsov, A., Tsitsuashvili, V. S., Purvis, W. O., Ghazaryan, K. A., & Movsesyan, H. S. (2018). Effects of zinc-oxide nanoparticles on soil, plants, animals and soil organisms: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 9, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2017.12.006>
- Saied, E., Hussein, A. S., Al-Askar, A. A., Elhussieny, N. I., & Hashem, A. H. (2023). Therapeutic effect of biosynthesized silver nanoparticles on hypothyroidism induced in albino rats. *Electronic Journal of Biotechnology*, 65, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2023.06.001>
- Salas-Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez-Mañas, L., Sáenz de Pipaon, M., Vitoria, I., & Moreno, L. A. (2020). Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual. *Nutrición Hospitalaria*, 37(5). <https://doi.org/10.20960/nh.03160>

- Sossa, C., & Barahona, R. (2015). Comportamiento productivo de novillos pastoreando en trópico de altura con y sin suplementación energética. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 62(1), 67-80. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v62n1.49386>
- Suresh, J., Pradheesh, G., Alexramani, V., Sundrarajan, M., & Hong, S. I. (2018). Síntesis ecológica y caracterización de nanopartículas de MgO con forma hexagonal utilizando extracto de hojas de la planta de insulina (*Costus pictus* D. Don) y su actividad antimicrobiana y anticancerígena. *Tecnología avanzada de polvo*, 29(7), 1685-1694. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2018.04.003>
- Tejeda Villagómez, E. A., Hernández-Adame, L., Nieto Navarro, F., & Anzaldo Montoya, M. (2023). Nanopartículas de silicio como vehículos de transporte para moléculas de interés agrícola. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69732>
- Vázquez-Núñez, E. (2023). Uso de nanomateriales en la agricultura y sus implicaciones ecológicas y ambientales. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69704>
- Wang, Q., Xu, S., Zhong, L., Zhao, X. y Wang, L. (2023). Efectos de las nanopartículas de óxido de zinc en el crecimiento, desarrollo y síntesis de flavonoides en *Ginkgo biloba*. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 24 (21), 15775. <https://doi.org/10.3390/ijms242115775>
- Zaragoza-Esparza, J., Medina-Fernández, M. F., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C., Canales-Islas, E., Chávez-Gordillo, A., & Alonso-Sánchez, H. (2021). Productividad y calidad de forraje de híbridos trilineales de maíz para valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4). <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.537>

## VI. Discusión general

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) y óxido de magnesio (MgO) tiene un impacto significativo en el crecimiento, desarrollo y calidad nutricional del pasto Mulato II.

Desde el punto de vista estructural, la caracterización de las nanopartículas mediante difracción de rayos X reveló que las de ZnO presentan una estructura cristalina hexagonal tipo wurtzita, mientras que las de MgO exhiben una formación cúbica tipo periclase. Esta diferencia estructural coincide con estudios previos que destacan la influencia de la cristalografía en la reactividad superficial y biodisponibilidad de los nanomateriales (Martínez *et al.*, 2023; Suresh *et al.*, 2018).

En términos de crecimiento vegetal, la aplicación de nanopartículas mejoró significativamente variables como la altura de la planta, el número de hojas y la longitud de raíz. El tratamiento T4 (95% ZnO - 5% MgO) mostró los mejores resultados en altura, mientras que el tratamiento T5 (100% ZnO) fue superior en número de hojas y longitud radicular. Estos hallazgos respaldan investigaciones previas que señalan el papel estimulante de las nanopartículas en el desarrollo vegetal (Wang *et al.*, 2023).

Respecto a la actividad fotosintética, las variables de fluorescencia y contenido de clorofila a+b evidenciaron mejoras significativas. El tratamiento T2 (85.6% ZnO - 14.4% MgO) presentó la mayor eficiencia en fluorescencia variable, mientras que los tratamientos T3 (89.4% ZnO - 10.6% MgO) y T4 (95% ZnO - 5% MgO) registraron los

mayores niveles de clorofila total. Estos resultados coinciden con estudios que destacan la utilidad de estos indicadores para evaluar la eficiencia fotosintética y el vigor vegetal (Lichtenthaler, 1987; Gitelson *et al.*, 2003).

En cuanto a la calidad nutricional del forraje, los análisis de laboratorio revelaron que el tratamiento T5 (100% ZnO) presentó los niveles más bajos de FDN y FDA, lo que sugiere una mayor digestibilidad y disponibilidad de nutrientes para el animal. Este hallazgo se alinea con investigaciones que subrayan la relevancia de la calidad del pasto en la eficiencia productiva del sistema pecuario (Mertens, 2002; Jung *et al.*, 1997).

Los hallazgos de este estudio evidencian el potencial de las nanopartículas de ZnO y MgO como agentes bioestimulantes en sistemas forrajeros tropicales, particularmente en el cultivo de pasto Mulato II. La mejora observada en variables agronómicas, fotosintéticas y nutricionales sugiere que la nanotecnología puede ofrecer soluciones innovadoras para incrementar la productividad y calidad del forraje, con posibles beneficios directos en la eficiencia de los sistemas pecuarios.

Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela. Aunque se identificaron proporciones óptimas de ZnO y MgO para distintas variables, el estudio se desarrolló bajo condiciones controladas, por lo que su extrapolación a campo abierto requiere validación adicional. Además, no se abordaron aspectos como la persistencia de los nanomateriales en el suelo, su interacción con la microbiota edáfica, ni sus posibles efectos acumulativos en la cadena trófica.

Desde una perspectiva agroecológica, es fundamental considerar no solo la eficacia agronómica, sino también la sostenibilidad y seguridad de estas tecnologías. La integración de nanopartículas en sistemas productivos debe ir acompañada de protocolos de manejo responsable, evaluación de riesgos ambientales y diálogo con los productores para asegurar su adopción informada.

En este sentido, el presente estudio constituye un punto de partida para futuras investigaciones interdisciplinarias que profundicen en el comportamiento de los nanomateriales en condiciones reales de producción, su impacto a largo plazo, y su compatibilidad con enfoques agroecológicos y resilientes. La optimización de dosis, la evaluación de costos-beneficios y la construcción de modelos participativos de validación serán claves para avanzar hacia una nanotecnología aplicada que sea no solo eficiente, sino también ética y contextualizada.

## **VII. Conclusión general**

La aplicación de nanopartículas en la agricultura puede ser una herramienta valiosa para mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas, contribuyendo a la seguridad alimentaria y la reducción del impacto ambiental. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para determinar la dosis óptima y la frecuencia de aplicación de estas nanopartículas para obtener los mejores resultados y garantizar su seguridad y eficacia en diferentes contextos agrícolas.

En general, este estudio aporta conocimientos valiosos sobre el potencial de las nanopartículas para mejorar la productividad y calidad de los pastos forrajeros, y abre nuevas perspectivas para la investigación y aplicación de esta tecnología en la agricultura.

### **VIII. Referencias bibliográficas**

Adjei, M. O., Zhou, X., Meiqin, M., Xue, Y., Liu, J., & Haohu (2021). Efecto de las nanopartículas de óxido de magnesio en el crecimiento, desarrollo y expresión de microARN de *Ananas comosus* var. *bracteatus*.

Babar, Hafeez & Yusop, Mohd & Saleem, Muhammad. (2013). Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review. *American journal of Experimental Agriculture*. 50(1): 374-391.  
Hafeez B., Khanif Y. M., Saleem M. 2013. 1. 374-391.

Barona, E., Ramankutty, N., Hyman, G., & Coomes, O. T. (2010). El papel de los pastos y la soja en la deforestación de la Amazonia brasileña. *Environmental Research Letters*, 5(2), 1-9. doi: 10.1088/1748-9326/5/2/024002

Burman, U., Saini, M., & Praveen-Kumar. (2013). Efecto de nanopartículas de óxido de zinc sobre el crecimiento y el sistema antioxidante de plántulas de garbanzo. 605-612. <https://doi.org/10.1080/02772248.2013.803796>

- Cai, L., Chen, J., Liu, Z., Wang, H., Yang, H., & Ding, W. (2018). Nanopartículas de óxido de magnesio: agente antibacteriano agrícola eficaz contra *Ralstonia solanacearum*. *Microbiología Frontal*, 9, 790. doi: 10.3389/fmicb.2018.00790
- Camacho Polo, J. D., & Deschamps Mercado, L. A. (2013). Síntesis de nanopartículas de plata y modificación con pulpa de papel para aplicación antimicrobial. Universidad De Cartagena.
- Castro Restrepo, D. (2017). Nanotecnología en la agricultura. DOI: 10.21931/RB/2017.03.03.9
- Coleman, S. W., & Moore, J. E. (2003). Calidad del alimento y rendimiento animal. *Investigación sobre cultivos de campo*, 84(1-2), 17-29.
- Domínguez-Escudero, J. M. A., Iglesias-Gómez, J. M., Olivera-Castro, Y., Milera-Rodríguez, M. de la C., Toral Pérez, O. C., & Wencomo-Cárdenas, H. B. (2021). Caracterización del pastizal y su manejo en un sistema de pastoreo racional Voisin, en Panamá. *Pastos y Forrajes*, 44
- Fahey, G. C., Jr. (Ed.). (1994). Calidad, evaluación y utilización de forrajes. Sociedad Americana de Agronomía, Inc., Sociedad Americana de Ciencias de Cultivos, Inc., Sociedad Americana de Ciencias del Suelo, Inc. DOI: 10.2134/1994.foragequality
- FAO (2013). Greenhouse gas emissions from agricultural production: A global life cycle assessment. Roma: FAO.



- García, E., Siles, P., Eash, L., van der Hoek, R., Kearney, S. P., Smucker, S. M., & Fonte, S. J. (2018). Evaluación participativa de gramas y leguminosas forrajeras mejoradas para la producción ganadera de pequeños productores en Centroamérica. Cambridge University Press.
- Gitelson, A. A., Gritz, Y., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of plant physiology*, 160(3), 271–282. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>
- Gogos, A., Knauer, K., & Bucheli, T. D. (2012). Nanomateriales en la protección y fertilización de plantas: Estado actual, aplicaciones previstas y prioridades de investigación. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(16), 3861-3873. DOI: 10.1021/jf302154y
- Graham, J. P., & Nachman, K. E. (2010). Gestión de los residuos de las operaciones de alimentación animal confinada en Estados Unidos: La necesidad de una reforma sanitaria. *Revista de Agua y Salud*, 8(4), 646-670. doi: 10.2166/wh.2010.075
- Grau, R., Kuemmerle, T., & Macchi, L. (2013). Más allá del "land sparing versus land sharing": Heterogeneidad ambiental, globalización y equilibrio entre producción agrícola y conservación de la naturaleza. *Opinión actual sobre la sostenibilidad ambiental*, 5(5), 477-483.

Hart, R., Samuel, M., & Smith, S. (1988, julio). Ganado, vegetación y respuestas económicas a los sistemas de pastoreo y a la presión del pastoreo. *Revista de gestión de pastizales*.

Heffer, P., & Prud'homme, M. (2013). Short-term fertilizer outlook 2012-2013. International Fertilizer Industry Association.

Heitschmidt, R. K., & Vermeire, L. T. (2004). ¿Es sostenible la agricultura de pastizales? *Revista de Ciencia Animal*, 82(Suplemento electrónico), E138-E146. doi: 10.2527/2004.8213\_supplE138x

Hillbrand, A., Borelli, S., Conigliaro, M., & Olivier, A. (2017). Agroforestería para la restauración del paisaje. División de Políticas y Recursos Forestales, Departamento Forestal de la FAO.

INIFAP (Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias). (2015).

Ittroutwar, P. D., Kasivelu, G., Raguraman, V., Malaichamy, K., & Sevathapandian, S. K. (2020). Efectos de las nanopartículas biogénicas de óxido de zinc sobre la germinación de semillas y el vigor de plántulas de maíz (*Zea mays*). *Biocatálisis y Biotecnología Agrícola*, 29, 101778.

Juárez Reyes, A. S., Cerrillo Soto, M. A., Gutiérrez Ornelas, E., Romero Treviño, E. M., Colín Negrete, J., & Bernal Barragán, H. (2009). Estimación del valor nutricional

de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas in vitro.

Jung, H. G., Mertens, D. R., & Payne, A. J. (1997). Correlation of acid detergent lignin and Klason lignin with digestibility of forage dry matter and neutral detergent fiber. *Journal of dairy science*, 80(8), 1622–1628. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76093-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76093-4)

Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Alonso Sánchez-Gutiérrez, R., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R., ... Chávez-Ruíz, M. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(supl. 3), e5875. doi: 10.22319/rmcp.v12s3.5875

Kamat, P. V. (2007). Satisfacer la demanda de energía limpia: Arquitecturas de nanoestructuras para la conversión de energía solar. *Journal of Physical Chemistry C*, 111(7), 2834-2860.

Klink, C., & Machado, R. B. (2005). La conservación del Cerrado brasileño. Universidad de Brasilia.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

López-Vigoa, O., Lamela-López, L., Sánchez-Santana, T., Olivera-Castro, Y., García-López, R., Herrera-Villafranca, M., & González-Ronquillo, M. (2019). Evaluación del valor nutricional de los forrajes en un sistema silvopastoril. *Pastos y Forrajes*, 42(1)

Martínez-Pacheco, C., Del Ángel-Meraz, E., & Díaz-Flores, L. L. (2023). Las nanoestructuras de ZnO y sus aplicaciones como sensor de gas H<sub>2</sub>S. *CienciaUAT*, 17(2). <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v17i2.1632>

Mauleón Tolentino, K. (2019). Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc a partir de extractos de *Stevia rebaudiana* y *Moringa oleifera*. Campus Tuxtepec División De Estudios De Posgrado.

Mertens, David & Allen, Michael & Carmany, J. & Clegg, J. & Davidowicz, A. & Drouches, M. & Frank, K. & Gambin, D. & Garkie, M. & Gildemeister, B. & Jeffress, D. & Jeon, C-S & Jones, D. & Kaplan, D. & Kim, G-N & Kobata, S. & Main, Dorrie & Moua, X. & Paul, B. & Wolf, M. (2002). Gravimetric Determination of Amylase-Treated Neutral Detergent Fiber in Feeds with Refluxing in Beakers or Crucibles: Collaborative Study. *Journal of AOAC International*. <https://doi.org/10.1093/jaoac/85.6.1217>

Moore, K. J., Anderson, B. E., Mitchell, R., & Moser, L. E. (2000). Morfología del desarrollo y dinámica de los macollos de praderas de gramíneas de estación cálida. En

- Pastos nativos de estación cálida: tendencias y problemas de investigación. Sociedad Americana de Ciencias del Suelo. doi: 10.2135/cssaspecpub30.c4
- Mori, A. S., Isbell, F., Fuji, S., Kobayashi, M., Matsuoka, S., Osono, T. (2015). Baja redundancia multifuncional de la diversidad de hongos del suelo a múltiples escalas. *Ecology Letters*, 19(1), 1-11.
- Palomeque Figueroa, E. (2009). *Sistemas Agroforestales*. Huehuetán, Chiapas, México.
- Peters, M., Rao, I. M., Fisher, M., & Subbarao, G. V. (2012). *Sistemas basados en forrajes tropicales para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero*. Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional, Bioversity International, CIAT, y Centro Internacional de Investigación de Ciencias Agrícolas de Japón.
- Pirela, M. F. (2005). *Valor nutritivo de los pastos tropicales*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Pokhrel, L. R., & Dubey, B. (2013). Las nanopartículas de óxido de plata y zinc causan anomalías en el desarrollo de las plantas de cultivo. *Science of the Total Environment*, 461-462, 321-332. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.02.059
- Priyanka, B., Ramesh, T., Selvaraj, R., & Balasubramaniam, P. (2019). Aplicación foliar de aminoácidos de pescado y de huevo para mejorar los parámetros fisiológicos del arroz. *Revista Internacional de Microbiología Actual y Ciencias Aplicadas*, 8(2), 351. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.802.351

Quintili, M. (2019). Nanociencia y Nanotecnología. un mundo pequeño. Cuadernos Del Centro De Estudios De Diseño Y Comunicación, 42(42), 125 a 154.  
<https://doi.org/10.18682/cdc.v42i42.1430>

Ramírez de la Ribera, J. L., Zambrano Burgos, D. A., Campuzano, J., Verdecia Acosta, D. M., Chacón Marcheco, E., Arceo Benítez, Y., Labrada Ching, J., & Uvidia Cabadiana, H. (2017). El clima y su influencia en la producción de los pastos. Revista Electrónica de Veterinaria, 18(6), 1-12.

Ramírez Segura, E. (2024). Selección de ecotipos de pastos nativos para forrajes. Investigaciones sobre el valor nutricional. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Ratnyek, P. G., & Johnson, R. L. (2006). Nanotecnologías para la limpieza ambiental. Environmental Science & Technology, 40(5), 44-48. DOI: 10.1016/S1748-0132(06)70048-2

Roco, M. (2003). Cuestiones sociales más amplias de la nanotecnología. Journal of Nanoparticle Research, 5(3-4), 181-189. DOI: 10.1023/A:1025548512438

Romero, JJ, Castillo, M., Burns, JC, Mueller, P., & Green, J. (2015). Técnicas de conservación de forrajes: producción de heno. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Servicio de Extensión Cooperativa de Carolina del Norte, AG-803.

Rotz, CA, Shinnars, KJ y Digman, M. (2020). Cosecha y almacenamiento de heno. En Forages (eds. KJ Moore, M. Collins, CJ Nelson y DD Redfearn). Biblioteca en línea de Wiley.

Seleiman, M. F., Ahmad, A., Battaglia, M. L., Bilal, H. M., Alhammad, B. A., & Khan, N. (2023). Nanopartículas de óxido de zinc: un mitigador único del estrés salino con el potencial de aumentar la producción futura de cultivos. *Revista Sudafricana de Botánica*, 159, 208-218.

Silva, R. F., Santos, J. C., & Oliveira, R. P. (2017). Impacto da pecuária na degradação do solo no Cerrado brasileiro. *Soil Science Society of America Journal*, 81(3), 631-641.

Singh, K. y Meena, M S. (2011). Producción de forrajes y piensos: una perspectiva económica. En el libro: *Forages and Fodder-Indian Perspective*. Daya Publishing House.

Suresh, J., Pradheesh, G., Alexramani, V., Sundrarajan, M., & Hong, S. I. (2018). Síntesis ecológica y caracterización de nanopartículas de MgO con forma hexagonal utilizando extracto de hojas de la planta de insulina (*Costus pictus* D. Don) y su actividad antimicrobiana y anticancerígena. *Tecnología avanzada de polvo*, 29(7), 1685-1694. <https://doi.org/10.1016/j.apl.2018.04.003>

- Takehara, Y., Fijikawa, I., Watanabe, A., Yonemura, A., Kosaka, T., Sakane, K., Imada, K., Sasaki, K., Kajihara, H., Sakai, S., Mizukami, Y., Haider, M. S., Jogaiah, S., & Ito, S. (2023). Análisis molecular de la inmunidad inducida por nanopartículas de MgO contra el marchitamiento por *Fusarium* en tomate. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 24(3), 2941. doi: 10.3390/ijms24032941
- Teixeira, C. M. G. L., Ludes, T., Sarmento, N., Proenca, V., & Domingos, T. (2018). Producción de pastos para ganado. Global Nature Fund.
- Villaquirán, M. y Lascano, C. 1986. Caracterización nutritiva de cuatro leguminosas forrajeras Tropicales. *Pasturas Tropicales*. Boletín. 8(2):2-6.
- Wang, Q., Xu, S., Zhong, L., Zhao, X. y Wang, L. (2023). Efectos de las nanopartículas de óxido de zinc en el crecimiento, desarrollo y síntesis de flavonoides en *Ginkgo biloba*. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 24 (21), 15775. <https://doi.org/10.3390/ijms242115775>



## IX. Anexos

### 9.1 Participación como ponente en congresos de investigación





30 AÑOS



Ciencia • Biodiversidad • Sustentabilidad



SCME  
SOCIEDAD CIENTÍFICA  
MEXICANA DE ECOLOGÍA

EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR Y LA SOCIEDAD CIENTÍFICA MEXICANA DE ECOLOGÍA

Otorga la presente

## CONSTANCIA

a

**Hugo Cruz Gonzalez, Wel Olvein Cruz Macías, Miguel Ángel Salas Marina, Vicente Pérez Madrigal**

Por su contribución en la modalidad **Ponencia oral**, titulada

**Nanopartículas de óxido de zinc y magnesio en el desarrollo del pasto Mulato II**

en el **IX CONGRESO MEXICANO DE ECOLOGÍA**  
celebrado del 6 al 11 de octubre de 2024

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

Dr. Antonio Saldívar Moreno  
Director General de ECOSUR

Dr. Arturo Flores Hernández  
Presidente de SCME

Dr. Jorge Leonel León Cortés  
Presidente del Comité Organizador

## 9.2 Constancias concursos de carteles

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS  
Y ARTES DE CHIAPAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

otorga el presente

**RECONOCIMIENTO**  
a

Ing. Hugo Cruz González  
Dr. Wel Olvein Cruz Macías  
Dr. Miguel Ángel Salas Marina  
Dr. Vicente Pérez Madrigal

Por su participación como expositor en el concurso de carteles con el tema “Nanopartículas de óxido de zinc y magnesio en el desarrollo del pasto mulato II” en la XLI Semana de Ingeniería “La transversalidad de la Ingeniería en México”, celebrado los días 11, 12 y 13 de Octubre de 2023.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 13 de octubre de 2023

ATENTAMENTE  
“Por la Cultura de mi Raza”

  
Ing. Mónica Catalina Cisneros Ramos  
Directora



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y  
ARTES DE CHIAPAS  
Facultad de Ingeniería

Otorga el presente

# RECONOCIMIENTO

A

Hugo Cruz González, Dr. Wel Olvein Cruz Macías

Dr. Miguel Ángel Salas Marina, Dr. Vicente Pérez Madrigal

Por su participación en el concurso de Carteles con el tema "Nanotecnología aplicada en pastos forrajeros" en el marco de la XLII Semana de Ingeniería "Medio Ambiente y Seguridad Industrial", celebrado los días 16, 17 y 18 de octubre de 2024.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 18 de octubre del 2024.

ATENTAMENTE

"Por la cultura de mi raza"

  
Ing. Mónica Catalina Cisneros Ramos  
Directora





### 9.3 Estancia en el Instituto de Investigación e Innovación en energías renovables



## UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

### INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas  
25 de abril del 2023  
**ASUNTO:** Aceptación de estancia  
de alumnos de posgrado

**Dr. Miguel Ángel Salas Marina**  
Coordinador de la Maestría en Ciencias Agroforestales  
Facultad de Ingeniería,  
UNICACH - Sede Villa Corzo  
**PRESENTE**

Con ATN°N para:  
MMSER. Vicente Pérez Madrigal,  
profesor de la FI - Sede Villa Corzo.

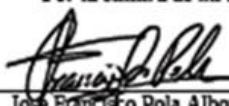
Estimado Coordinador:

Por este medio me permito informarle que con mucho gusto se acepta a los alumnos: **Beatriz Isabel Matos Yero (matrícula 63123004)** y **Hugo Cruz González (matrícula 63123002)**, de la Maestría en Ciencias Agroforestales de la Facultad de Ingeniería de la UNICACH, para realizar una estancia de investigación en el Laboratorio de Materiales y Procesos Sustentables (LaMPSus) del IIIER, del 24 al 29 de abril del presente año.

Durante la estancia, sus alumnos podrán realizar las actividades que amablemente nos hizo llegar en su solicitud y contarán con todas las facilidades de acceso e infraestructura, así como el respaldo total de su servidor y del equipo de trabajo del LaMPSus.

Sin más por el momento, aprovecho esta oportunidad de enviarle un cordial saludo.

Atentamente  
*"Por la cultura de mi raza"*



José Francisco Pola Albores  
Profesor-Investigador del IIIER  
Responsable del LAMPUSUS



Laboratorio de Materiales  
y Procesos Sustentables  
IIIER-UNICACH

2023 Año de Francisco Villa  
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



Colonia Lajas Maciel, C.P. 29039  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; México  
Tel: (961) 6170440 Ext. 4299  
francisco.pola@unicach.mx  
lampsus@unicach.mx

## 9.4 Retribución Social



**CONAHCYT**  
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



Maestría en  
Ciencias  
Agroforestales

### Constancia de actividades de retribución social

Ciudad de México, a **13 de noviembre del 2024**

#### A QUIEN CORRESPONDA

**Presente.-**

En cumplimiento a lo establecido en el **Artículo 19, Capítulo VIII. De la Conclusión de la Beca o Apoyo, del Reglamento de Becas del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías** y en el marco de la Convocatoria **BECAS CONAHCYT NACIONALES 2023**, hago constar que el (la) **C. HUGO CRUZ GONZALEZ** con número de **CVU 1273512** beneficiado (a) con una beca para obtener el grado de **MAESTRO** en el programa **MAESTRIA EN CIENCIAS AGROFORESTALES**, que se imparte en **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**, realizó las actividades de retribución social durante el periodo de vigencia de la beca, tiempo en el que fue **alumno (a)** regular de esta Institución.

Asimismo, hago constar que, conforme a lo establecido en la Ley General de Archivos, la coordinación del posgrado organiza y conserva la evidencia documental de dichas actividades en caso de que el CONAHCYT o cualquier otra instancia la requiera.

Sin más por el momento, le envío un cordial saludo.

  
**DR. MIGUEL ANGEL SALAS MARINA**

Coordinador de la Maestría en Ciencias Agroforestales



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS  
AGROFORESTALES  
CARRERAS VILLAS COCOS

  
Hugo Cruz González

Nombre y firma de la persona becario

1273512

  
Dr. Wel Cruz Macías  
Nombre y firma de la persona  
responsable de supervisar la actividad  
de retribución social en el programa  
de posgrado  
(Director)

Vo. Bo.  
  
Dr. Miguel Ángel Salas Marina  
Coordinador de la Maestría en Ciencias  
Agroforestales



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS  
AGROFORESTALES  
CARRERAS VILLAS COCOS



**CONAHCYT**  
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



Maestría en  
Ciencias  
Agroforestales

  
Dr. Miguel Ángel Salas Marina

Nombre y firma de la persona  
responsable de supervisar la actividad  
de retribución social en el programa  
de posgrado  
(Co-director interno / externo)



  
Dr. Vicente Reyes Madrigal

Nombre y firma de la persona  
responsable de supervisar la  
actividad de retribución social en el  
programa de posgrado  
(Co-director interno / externo)





**ESC. TELESECUNDARIA 127 JUAN ESCUTIA Y MARTINEZ**  
**CLAVE 07ETV0060C**



**TELEsecundaria**

*Otorga la presente:*

## *Constancia*

*Ing. Hugo Cruz González*

POR HABER ASISTIDO A LA SEMANA DE INTERCAMBIOS ACADÉMICOS "GANADERÍA SUSTENTABLE E INNOVACIÓN" DEL 20 AL 22 DE MAYO DEL 2024, Y HABER PARTICIPADO COMO PONENTE CON EL TEMA "EFECTO DE LAS NANOPARTÍCULAS: UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE EN LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES", COL. URSULO GALVAN, MPIO. VILLAFLORES; CHIAPAS.



**MTRO. JUAN CARLOS FARRERA MAZA**  
DIRECTOR TELESECUNDARIA



## 9.5 Evidencia de envió del artículo

