



**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

**VERA  
CRUZ**  
ME LLENA DE ORGULLO



1

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

**Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca**

**Subdirección de Posgrado e Investigación**

**Maestría en Producción Pecuaria Tropical**

**TESIS**

**“Productividad forrajera de Leucaena con un consorcio de  
cianobacterias fijadoras de nitrógeno en sistema silvopastoril”**

**PRESENTA**

**Ing. Huberto Martínez Domínguez**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. Claudio Vite Cristóbal**

**CODIRECTORA DE TESIS**

**Dra. Citlally Ramírez López**

**Tantoyuca, Veracruz. Julio de 2024**

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101  
**www.itsta.edu.mx**



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERA  
CRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



2

## DEDICATORIA

*A mi esposa Diana, tu amor y apoyo hacia mí, es siempre incondicional; y ese, es el acto más grande y puro de amor, gracias por madrugar y desvelarte conmigo, por oírme y ser paciente en todo momento, por creer en mis proyectos y ser mi hogar. Todos los días, construimos lo más hermoso y eterno de nuestras vidas...nuestra hermosa familia, Abril y tú, son eternamente, mi todo. Te amo mucho.*

*A mi hija Abril Marilú, la luz de mi vida, aunque ahora eres muy pequeñita, sé que un día entenderás estas líneas, eres la bendición más grande y hermosa de nuestras vidas. Papá seguirá esforzándose mucho para ti, para que tus valores sean tus estandartes en la vida, tus conocimientos tu escudo en las pruebas difíciles y tu corazón esté lleno de amor. Cada día juntos, es el regalo más bello que la vida pudo darme. Te amo siempre.*

*A mis papás, Huberto Martínez y Marilú Domínguez †, gracias por amarme y guiarme durante toda su vida, su amor incondicional vive en mí cada día, con amor hasta el cielo, Hube.*

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024



200 AÑOS  
VERACRUZ  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERA  
CRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



3

## AGRADECIMIENTOS

Al CONAHCYT, por la beca otorgada durante mis estudios de maestría para la realización de esta investigación.

Al TECNM Campus Tantoyuca, mi casa de estudios, personal docente, administrativo y de servicios por las facilidades otorgadas en cada solicitud o requerimiento.

Al Sr. Julio del Ángel, su esposa la Sra. Margarita y a su familia, por haberme abierto no solo las puertas de su Rancho Loma Bonita como unidad productiva, sino también las de su hogar, gracias por brindarme todas las herramientas, recursos y enseñanzas de su rancho para la realización de este trabajo. Su labor y conocimiento como productores es admirable.

Mi más sincero agradecimiento y admiración, para mis asesores de proyecto, Dr. Claudio Vite Cristóbal, Dra. Citlally Ramírez López y Dra. Karla Lissette Silva Martínez, quienes fueron mi guía en todo momento, sus enseñanzas han sido y serán por siempre, pilar fundamental en mi formación profesional.

A los ingenieros Hugo Pérez, David Hernández, Milton Hernández, Miguel Pacheco, Evelyn Marcos, Jazmín Hernández, Dulce Valdez, Paulina Ramírez, Marian Bautista y Ernesto Arrieta por su arduo compromiso y apoyo en el trabajo de campo realizado, sin ustedes este trabajo no hubiera sido posible.

A la Dra. Ma Nieves Trujillo Tapia, quien fungió como docente externa en mi programa académico y quien compartió conmigo un mundo vasto y maravilloso de conocimiento, sin duda, sus aportaciones resultaron claves para el entendimiento de esta investigación.

A mis suegros, Sr. Abel Meraz y Sra. Rocío Escalante, quienes con su apoyo y cariño incondicional hacia mi familia y a mi persona, fueron siempre pieza clave para afrontar cualquier reto.

A todos, mis más sinceras y eternas GRACIAS.

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101

[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



200 AÑOS  
VERACRUZ  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN

## RESUMEN

La ganadería convencional ha generado un desequilibrio ecosistémico, lo que imposibilita los procesos pecuarios. Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una estrategia para convertir la ganadería en una práctica sustentable, el uso de la biotecnología sitúa a las cianobacterias fijadoras de nitrógeno (CFN) como un área de oportunidad por el alto valor agregado en la biomasa, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de CFN sobre las propiedades forrajeras de *Leucaena leucocephala*, durante el periodo Primavera-Verano (PV) y Otoño-Invierno (OI), dentro de un SSP implementado en Ozuluama, Veracruz. La fertilización fue aplicada previa a cada cosecha con una frecuencia de 56 días, el muestreo del forraje fue mediante la observación del comportamiento animal en pastoreo racional. Las variables fueron altura (AP), Peso Verde del forraje (PVL) y del estrato Herbáceo (HB), pH y Conductividad Eléctrica (CE), Área Foliar (AF), Materia Seca (MS) de *Leucaena* (MSL), Rendimiento de Materia Verde de *Leucaena* (RMVL), RMSL, MSHB, RMVHB, RMSHB, Rendimiento de Biomasa Verde Total (RBVT), RMS Total (RMST) e Índice de Verdor (IV); además, se determinaron los contenidos de Humedad, MS, Proteína, Grasas, Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácida. Por último, se estimó la influencia del consorcio en el suelo mediante la MO,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , K intercambiable, CIC y P asimilable. Las variables fueron sometidas a un análisis de varianza con un modelo estadístico que incluyó los efectos fijos de Edad, Consorcio y Pendiente como criterio de bloqueo, así como el efecto aleatorio de Estación del año como covariable. El rendimiento del forraje presentó un incremento a partir del día 255 por lo cual el AF, RBVT y el RMST resultaron significativos ( $P < 0.05$ ), atribuido al tiempo de descanso, lo que permitió mayor acumulación de biomasa; la actividad fotosintética fue significativa ( $P < 0.05$ ) durante PV, los valores de PC resultaron significativos ( $P > 0.05$ ) en la edad, encontrándose valores dentro del rango normal en SSP, el nitrógeno amoniacal tuvo mayor concentración durante PV ( $P < 0.05$ ), lo mismo fue para  $\text{NO}_3^-$  y el pH, mientras que la MO, K intercambiable y CIC mostraron efectos ( $P < 0.05$ ) en la edad de 2 años,

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024



**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



5

éstos resultados evidenciaron un intercambio favorable entre el suelo y la planta. Conclusiones. La fertilización con CFN mostró diferencias en las variables agronómicas y edafológicas, lo cual permitió vislumbrar su posible aplicación biotecnológica como biofertilizante para el forraje y las condiciones del suelo.

**Palabras clave:** *Ganadería sostenible, Biotecnología pecuaria, microorganismos adaptables, resiliencia ambiental*



2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101  
**www.itsta.edu.mx**



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



## ABSTRACT

Conventional livestock farming has generated an ecosystem imbalance, which makes livestock processes impossible. Silvopastoral systems (SSP) are a strategy to convert livestock farming into a sustainable practice; the application of nitrogen-fixing cyanobacteria (NFC) places them as an area of opportunity due to their high added value in biomass. The objective of this research was to evaluate the effect of NFC on the forage properties of *L. leucocephala*, during the Spring-Summer (SS) and Autumn-Winter (AW) period within an SSP implemented in Ozuluama, Veracruz. Methodology. Fertilization was applied prior to each harvest with a frequency of 56 days, forage sampling was done through observation of animal behavior in rational grazing. The variables were plant height (PH), Green forage weight (GFW) and Herbaceous layer (HB), pH and Electrical Conductivity (EC), Leaf Area (LA), Dry Matter (DM) Leucaena Dry Matter (LDM), Green Matter Yield (GMY) Leucaena Green Matter Yield (LGMY), Dry Matter Yield (DMY) Leucaena Dry Matter Yield (LDMY), DMHB, YHBGM, YDMHB, Total Green Biomass Yield (TGBY), Total DMY (TDMY) and Greenness Index (GI); The contents of Moisture, DM, Protein, Fat, Neutral Detergent Fiber and Acid Detergent Fiber were determined; finally, the influence of the consortium on the soil was estimated through OM, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, exchangeable K, CEC and assimilable P. Her variables were subjected to an analysis of variance with a statistical model that included the fixed effects of Age, Consortium and Pending as blocking criteria, as well as the random effect of Season of the year as a covariate. Forage yield increased from day 255 onwards, so LA, TGBY, and TDMY were significant ( $P < 0.05$ ), attributed to the rest time, which allowed greater accumulation of biomass, photosynthetic activity was significant ( $P < 0.05$ ) during SS, CP values were significant ( $P > 0.05$ ) in age, with values within the normal range in SSP, ammoniacal nitrogen had a higher concentration during SS ( $P < 0.05$ ), the same was for NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and pH, while MO, exchangeable K and CEC showed effects ( $P < 0.05$ ) at the age of 2 years, these results showed a favorable exchange between the soil and the plant. Fertilization with CFN showed differences

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024



**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

**VERACRUZ**  
ME LLENA DE ORGULLO



7

in agronomic and pedological variables, which allowed us to glimpse its possible biotechnological application as a biofertilizer for forage and soil conditions.

**Keywords:** Sustainable livestock, livestock biotechnology, adaptable microorganisms, environmental resilience



2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101  
[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN





# ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	3
<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>1. Introducción</b> .....	12
<b>2. Objetivos</b> .....	21
2.1. General .....	21
2.2. Específicos.....	21
<b>3. Hipótesis</b> .....	22
<b>4. Marco teórico</b> .....	23
4.1. Antecedentes .....	23
4.2. Estado del arte .....	33
<b>5. Metodología</b> .....	43
5.1. Área y periodo de estudio.....	43
5.2. Descripción de los tratamientos.....	44
5.3. Variables de estudio.....	45
5.4. Descripción y manejo del objeto de estudio.....	52
5.5. Diseño experimental.....	54
5.6. Análisis estadístico.....	56
<b>6. Resultados y discusión</b> .....	57
<b>7. Conclusiones</b> .....	107
<b>8. Recomendaciones</b> .....	107
<b>9. Literatura citada</b> .....	109
<b>ANEXOS</b> .....	132





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos de las CFN en las plantas. ....	36
Figura 2. Componentes de un Sistema Agroecológico. ....	38
Figura 3. Retos de los Sistemas silvopastoriles. ....	41
Figura 4. Temperatura media mensual máxima (T max) y mínima (T min) y precipitación mensual en Ozuluama de Mascareñas, Veracruz, México.. ....	44
Figura 5. Representación del SSP estudiado.....	53
Figura 6. Factores del diseño experimental. ....	55
Figura 7. Efecto del tiempo de muestreo en el área foliar global de hoja de forraje de <i>Leucaena</i> en sistema silvopastoril.....	59
Figura 8. Efecto de la interacción EdadxPeriodo sobre el área foliar global (cm <sup>2</sup> -planta <sup>-1</sup> ) en sistema silvopastoril.....	60
Figura 9. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia verde de forraje global de <i>L. leucocephala</i> en sistema silvopastoril.....	61
Figura 10. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia seca global de <i>Leucaena</i> en sistema silvopastoril.....	63
Figura 11. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia verde herbácea global en sistema silvopastoril.....	65
Figura 12. Efecto de la interacción EdadxPeriodo sobre el rendimiento de materia verde herbácea global en sistema silvopastoril.....	66
Figura 13. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia seca herbácea global en sistema silvopastoril.....	67
Figura 14. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de biomasa verde total en sistema silvopastoril. ....	68
Figura 15. Efecto de la interacción EdadxPeriodo sobre el rendimiento de materia verde total en sistema silvopastoril.....	70
Figura 16. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia seca total en sistema silvopastoril. ....	71
Figura 17. Efecto del tiempo de muestreo en el índice de Verdor global en sistema silvopastoril.....	75
Figura 18. Efecto de la interacción EdadxPeriodo sobre la Fibra detergente neutro global (%) en sistema silvopastoril. ....	81
Figura 19. Efecto del tiempo de muestreo en el pH global en suelo de un sistema silvopastoril.....	85





**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



10

Figura 20. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de nitrato global en suelo de un sistema silvopastoril..... 87

Figura 21. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de fósforo asimilable global en suelo de un sistema silvopastoril. .... 91

Figura 22. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de la Capacidad de Intercambio Catiónico global en suelo de un sistema silvopastoril..... 93

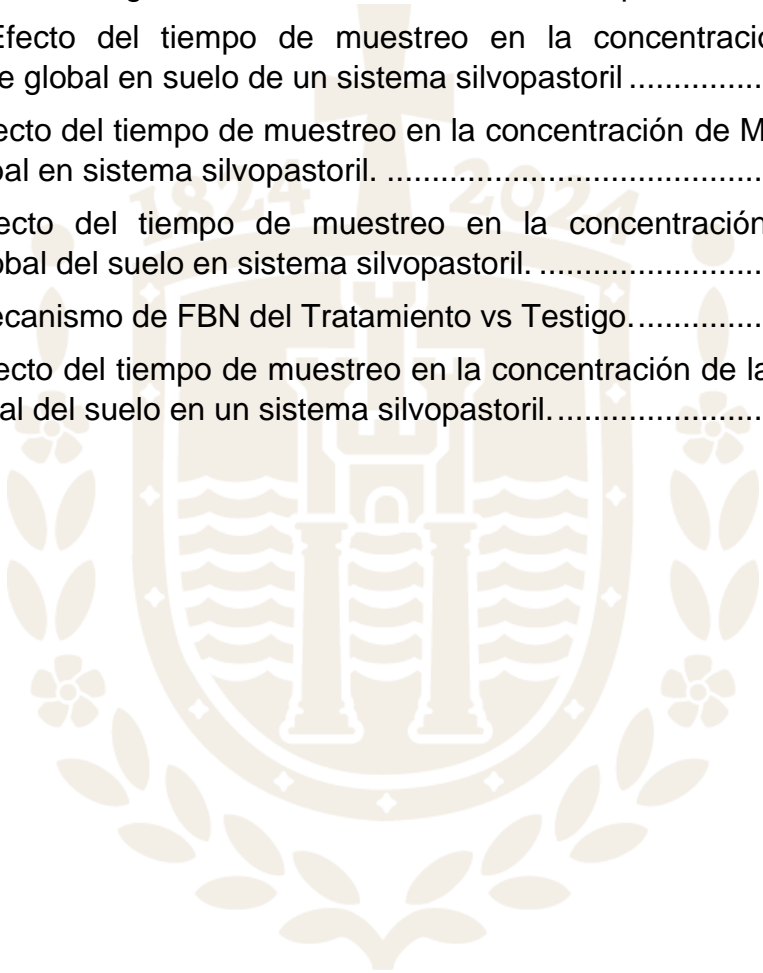
Figura 23. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración del Potasio intercambiable global en suelo de un sistema silvopastoril ..... 95

Figura 24. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de Materia Orgánica del suelo global en sistema silvopastoril. .... 96

Figura 25. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de Nitrógeno amoniacal global del suelo en sistema silvopastoril. .... 99

Figura 26. Mecanismo de FBN del Tratamiento vs Testigo..... 102

Figura 27. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de la Conductividad Eléctrica global del suelo en un sistema silvopastoril..... 105





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Organismos Fijadores de nitrógeno.....	27
Tabla 2. Tratamientos utilizados durante el diseño experimental.....	44
Tabla 3. Especies del estrato herbáceo obtenidas en sistema silvopastoril.....	64
Tabla 4. Resultados de medias y significancias de variables agronómicas de un sistema silvopastoril. ....	73
Tabla 5. Resultados de significancias del índice de verdor.....	74
Tabla 6. Medias y significancias de variables bromatológicas evaluadas en un sistema silvopastoril, en tiempo inicial y final del experimento .....	83
Tabla 7. Resultados de significancias de variables fisicoquímicas del suelo, evaluadas durante cada pastoreo. ....	88
Tabla 8. Resultados de significancias de Fósforo asimilable en suelo en un sistema silvopastoril evaluadas en tiempo inicial y final del experimento. ....	90
Tabla 9. Resultados de significancias de variables fisicoquímicas del suelo de un sistema silvopastoril, en tiempo inicial y final del experimento .....	92
Tabla 10. Resultados de significancias de Nitrógeno amoniacal, evaluadas en suelo de un sistema silvopastoril, en tiempo inicial y final del experimento .....	98
Tabla 11. Resultados de significancias de la Conductividad Eléctrica evaluadas en suelo de un sistema silvopastoril.....	103





## 1. Introducción

Los sistemas tradicionales de producción pecuaria en el trópico han sido implementados mostrando rentabilidad, pero no sostenibilidad. A pesar de los beneficios económicos, existen efectos negativos originados por la ganadería tanto intensiva como extensiva (Bautista et al., 2023), los malos manejos en las prácticas convencionales generan impactos ambientales negativos, los cuales se ven reflejados principalmente como la pérdida de la fertilidad, erosión y salinización del suelo (Polanía et al., 2021); así como en la afectación de las fuentes hídricas, pérdida de biodiversidad y emisión de gases de efecto invernadero (GEI), tales como metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Entre los principales desafíos que enfrenta la agricultura, se encuentran: Contribuir a la seguridad alimentaria de una población en constante crecimiento, estimada en alcanzar los 9,500 millones de habitantes para el año 2050 (Van Dijk et al., 2021), sin comprometer los recursos naturales (Castillo y Jarillo, 2020), así como rediseñar los sistemas de producción pecuaria disminuyendo los insumos externos sin que esto genere pérdidas significativas en los rendimientos de los cultivos (Contreras et al., 2020); Latinoamérica juega un papel importante en el sector ganadero, ya que aporta más del 25% de la producción de carne vacuna y el 10% de leche a nivel mundial (Moreno et al., 2021); sin embargo, los sistemas de producción animal en el trópico se caracterizan por tener un bajo rendimiento, debido al manejo deficiente de forrajes basados en pasturas de monocultivos, poca diversidad de plantas y una planeación inadecuada en la fertilización (Mejía et al., 2020).

La producción de forraje de manera natural y económica que garantice el bienestar animal debe ser un objetivo fundamental para que los pequeños, medianos y grandes productores puedan obtener rendimientos forrajeros sostenibles, siendo cada vez más resilientes a las variaciones originadas por el cambio climático (Murgueitio et al., 2019).



Por todo lo anterior, se proponen los Sistemas Silvopastoriles (SSP) como una alternativa para la optimización de los recursos disponibles en el trópico, ) ya que los SSP se basan en hacer asignaciones de suelos ajustados a la oferta natural del ecosistema considerando diferentes condiciones biofísicas como suelos infértiles o pendientes (Infante, 2021). Los SSP permiten disponer simultáneamente especies pecuarias domésticas con forestales en una misma superficie, logrando la integración de especies leñosas, herbáceas y animales. El dúo pastura-árbol permite mejorar la productividad de la tierra, incluyendo cambios en el microclima asociado a la pastura (Contreras et al., 2020). Este tipo de arreglo agroecológico favorece la conversión de energía solar en biomasa a través de los estratos de la vegetación, reciclaje de nutrientes, restauración de suelos degradados y la oferta de arbustos forrajeros de alta calidad en altas densidades para el ramoneo directo del ganado (Pérez et al., 2023). A nivel edáfico promueven la retención del agua en el suelo disminuyendo la escorrentía y la proliferación de cárcavas (Giraldo y Chará, 2022).

Por otro lado, conservar la diversidad vegetal en las pasturas conlleva implementar estrategias de pastoreo que aminoren el impacto directo del ganado en el suelo y que reduzcan el ingreso de insumos externos (Bautista et al., 2022). Por ello, que el método más adaptable para el manejo del ganado en este tipo de sistemas es el Pastoreo Racional Voisin (PRV), un proceso agroecológico que se basa en la división de potreros, reduciendo la compactación del suelo y la dispersión de heces por el pisoteo de los animales, promueve la eliminación de la fertilización inorgánica y disminuye el uso de antiparasitarios y antibiótico de amplio espectro (Silva et al., 2022). Lo anterior permite la recuperación de las pasturas en periodos máximos de hasta 67 días, lapso en el que se limita la degradación de la pastura por el consumo de rebrote.

Diversos trabajos de investigación han abordado las interacciones entre los árboles y pasturas en las regiones tropicales de México, por ello para este trabajo se seleccionó a *L. leucocephala*, una especie nativa que suele comportarse como



arbusto o como árbol y que ha dado buenos resultados al ser introducida a zonas de pastoreo, donde es capaz de incrementar y mejorar la calidad del forraje (Rojas et al., 2021).

La implementación de esta planta en un SSP permite reducir costos en comparación con un sistema convencional, al dejar de depender de fertilizantes nitrogenados (Rivera et al., 2017). Desde un escenario general, *L. leucocephala* contribuye en la reducción de la erosión y salinidad del suelo, promueve mecanismos de fertilidad en el mismo, además de generar una relación simbiótica entre las raíces y las bacterias del género *Rhizobium* (Hernández et al., 2023).

Las experiencias de los productores del trópico mexicano han demostrado que la asociación de *L. leucocephala* con pastos seleccionados y cruces genéticos con ganado vacuno como *Bos taurus x Bos indicus*; permiten un incremento del 15 al 20% en la producción de carne (Murgueitio, 2017). A pesar de las capacidades que *L. leucocephala* pueda brindar, es de vital importancia evaluar la combinación de especies arbóreas y gramíneas para la obtención de mayores rendimientos en el forraje y los servicios ambientales antes mencionados. Por su parte, *Meghatyrsus maximus* Jacq. cv Miyagui es una de las gramíneas con gran aceptación por los productores, debido a su elevado rendimiento producción, buena aceptación del ganado y su fácil adaptación a diversas condiciones climáticas y edafológicas (Hernández et al., 2020).

Por otro lado, en años recientes se han investigado diferentes alternativas que sean capaces de disminuir la fertilización química nitrogenada convencional debido a que el uso intensivo e irracional de este tipo de productos conlleva a impactos ambientales negativos en suelo y agua, incremento en los costos de producción así como daños a la salud de los productores (Ayvar et al., 2020). Por esta razón, la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) resulta una estrategia factible, al ser un proceso natural en el cual las bacterias fijadoras de nitrógeno pueden hacer disponible este elemento hacia el suelo, mejorando el rendimiento de los cultivos y



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



15

pasturas, asegurando el desarrollo y la salud del ecosistema (Blanco et al., 2023). La comunidad microbiana del suelo es basta, pues incluye hongos filamentosos, hongos micorrizógenos orbiculares, bacterias y cianobacterias, estas últimas tienen la característica de realizar la fijación del nitrógeno atmosférico y solubilizar el fósforo insoluble del suelo (Del Campo et al., 2022).

Particularmente, las Cianobacterias Fijadoras de Nitrógeno (CFN) resultan ser una excelente opción para la agricultura, ya que sus procesos metabólicos mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, promueven la actividad microbiológica y participan en el reciclaje de nutrientes (Alonso et al., 2021). El uso de estos organismos como biofertilizantes, favorecen la productividad de los cultivos, principalmente los géneros *Anabaena*, *Fisherella* y *Nostoc* por su capacidad en la fijación de nitrógeno (Trujillo & Ramírez, 2016). Poseen además fitohormonas encargadas de la estimulación y el crecimiento tales como cito cininas, auxinas, ácido abscísico, polisacáridos, oligosacáridos; antioxidantes como los flavonoides, clorofilas y carotenos, así como minerales: Hierro, Magnesio, Calcio, Nitrógeno, Iodo, Fósforo (P), Potasio (K) Boro, Cobalto, Bario, Manganeso, Cobre, Cobalto, Zinc, Níquel y Molibdeno), Materia Orgánica (M.O.), vitaminas, aminoácidos y proteínas, enzimas, así como diferentes ácidos de los cuales resaltan los ácidos fúlvicos (López et al., 2020). La diversidad de los compuestos presentes en las cianobacterias permite que participen en diversos procesos fisiológicos de las plantas, mejorando el rendimiento de los cultivos.

Entre los efectos que promueven el uso de CFN destacan la resistencia al estrés abiótico en regiones con baja precipitación, altos niveles de radiación y largos periodos de sequía (Chamizo et al., 2018), favorecen la estimulación de la germinación de semillas, así como el crecimiento y desarrollo de las plantas (Hernández., et al 2019; López., et al 2020); y participan en los mecanismos de defensa e inmunidad de las plantas, incrementando la resistencia a enfermedades fúngicas y bacterianas (Ammar et al., 2017).

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024



200 AÑOS  
VERACRUZ  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

**VERACRUZ**  
ME LLENA DE ORGULLO



16

La aplicación de cianobacterias como biofertilizantes inoculantes para que estimulen la FBN en cultivos forrajeros, puede contribuir significativamente a incrementar el potencial productivo, colocando a estos microorganismos como una alternativa ambientalmente positiva.



2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101  
[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN





## Planteamiento del Problema

El aumento continuo de la población mundial y el agotamiento de los recursos naturales representan una amenaza para las necesidades ambientales, suministro sostenible de alimentos y energía (Chittora et al., 2020). Con el objetivo de alcanzar un modelo sostenible de crecimiento con un enfoque de producción y consumo responsable, a través de ciudades y comunidades sustentables, la asamblea general de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció diecisiete objetivos y metas concentrados en la agenda 2030, misma que busca el desarrollo sostenible bajo las dimensiones social, ambiental y económica.

Para ese mismo año, se debe de lograr a través de planes de acción, la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, asimismo se deben de garantizar modalidades de consumo y de producción sostenibles. Para el año 2030, los gobiernos internacionales habrán sumado esfuerzos en común para luchar contra la desertificación, aplicar procesos para la rehabilitación de tierras y suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía e inundaciones y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2023).

La ganadería extensiva genera un alto impacto en cuanto a cambio climático y sustentabilidad se refiere, ya que, debido a la deficiente planeación e inadecuados sistemas de pastoreo conlleva a la reducción de la biodiversidad del suelo ocasionado por el sobrepastoreo contribuyendo a la degradación del suelo y a la pérdida en la producción del forraje para el ganado que resulta en la disminución de la capacidad de carga animal por unidad de superficie (Solórzano et al., 2020). En este contexto, las cianobacterias son plataformas para el desarrollo potencial de productos para mejora del suelo, producción y protección de cultivos, como biofertilizantes, fertilizantes orgánicos, bioestimulantes, agentes de biocontrol y acondicionadores de suelo. Sin embargo, el conocimiento disperso y la falta de





**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

**VERACRUZ**  
ME LLENA DE ORGULLO



18

comprensión de los efectos y mecanismos de las microalgas en el suelo, así como la variedad de condiciones aún limita su uso generalizado en entornos agrícolas (Álvarez et al., 2021).



2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101  
[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



## Justificación

Actualmente existe una creciente intensificación del cambio climático, que trae como consecuencia la alteración de los ciclos climatológicos y con ello, alteraciones en los patrones de lluvia y de temperaturas que afectan el desarrollo del sector pecuario. Otras variables determinantes en el desarrollo de un sistema de producción agrícola o ganadero son: las condiciones del o de los tratamientos previos al uso del suelo (prácticas como roza, tumba y quema, uso de agroquímicos o fertilizantes por citar los ejemplos más comunes); la deforestación desmedida; el uso de sistemas de monocultivos, así como la ganadería de uso intensivo. Este tipo de condiciones, son usualmente encontradas en la mayoría de los territorios con un enfoque de producción pecuaria tropical que, en cierta parte es el reflejo de prácticas que fueron heredadas de una tradición ancestral por parte del contexto cultural que los rodea, sin embargo, los productores tienen una limitada participación y cooperación con entidades y programas de orden público, particular, y académico, por lo cual, realizar una transición agroecológica es cada vez más difícil.

Partiendo de las problemáticas abordadas anteriormente, surge como respuesta emergente a la implementación de sistemas tradicionales de producción ganadera, el uso de un consorcio de cianobacterias que permitiría ampliar las posibilidades aplicadas a entornos agrícolas. Las cianobacterias fijadoras de nitrógeno son microorganismos autótrofos que cumplen funciones diazótrofes, pueden controlar la deficiencia de nitrógeno en las plantas, mejorar la aireación del suelo y la capacidad de retención de agua, además de mejorar la disponibilidad de los nutrientes. Para entender su aplicación, se encuentran tres usos y aplicaciones enfocadas a suelos y plantas: I) Bioestimulantes: empleados para la promoción del crecimiento de las plantas independientemente del contenido de nutrientes del sitio; II) Acondicionadores de suelos, mejorando las propiedades físicas del suelo y III) Fertilizantes orgánicos.



**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



20

A través de una biomasa como suministro de nutrientes. No obstante, al aplicarse biomasa de cianobacterias no vivas, por ejemplo, biomasa seca al horno, también puede reflejar resultados como nuevas fuentes de bioestimulantes (sustancias, consorcios) que ayuden a mejorar la eficiencia en el uso de los nutrientes o la tolerancia al estrés abiótico. Por lo tanto, se necesitan mayores intervenciones en el campo experimental y en el científico para correlacionar ensayos y pruebas que generen un área de oportunidad enfocada a los microorganismos en sistemas agroecológicos para la implementación de técnicas para la recuperación de sistemas y especies de importancia pecuaria.



2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101  
[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



## 2. Objetivos

### 2.1. General

Evaluar el efecto de un consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno sobre las propiedades forrajeras de *Leucaena* y sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, durante las temporadas primavera-verano y otoño-invierno, dentro de un sistema Silvopastoril implementado en el municipio de Ozuluama de Mascareñas, Veracruz.

### 2.2. Específicos

- Determinar el efecto de la aplicación de un consorcio de cianobacterias sobre las propiedades forrajeras (rendimiento de forraje y área foliar de la planta), características bromatológicas (Proteína cruda, Extracto etéreo, Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácida) e Índice de verdor de *L. leucocephala* durante dos periodos: Primavera-Verano y Otoño-Invierno.
- Establecer la dinámica del pH, fósforo asimilable, amonio y nitrato en el suelo; así como su relación con las características foliares de *L. leucocephala*, durante la aplicación del consorcio de cianobacterias en los periodos Primavera-Verano y Otoño-Invierno.
- Estimar la influencia del consorcio de cianobacterias sobre la capacidad de intercambio catiónico, potasio intercambiable, conductividad eléctrica, materia orgánica y el nitrógeno total en el suelo, al final de los periodos Primavera-Verano y Otoño-Invierno.



### 3. Hipótesis

Ha: Si las cianobacterias fijadoras de Nitrógeno mejoran la adquisición de nutrientes en cultivos agrícolas, su aplicación como biofertilizante incrementará las características foliares y bromatológicas de *L. leucocephala*, por lo cual aportará mayor rendimiento dentro de un sistema silvopastoril con un mejor comportamiento durante el ciclo Primavera - Verano y Otoño – Invierno.

Ho: Si las cianobacterias fijadoras de Nitrógeno no mejoran la adquisición de nutrientes en cultivos agrícolas, su aplicación como biofertilizante no incrementará las características foliares y bromatológicas de *L. leucocephala*, por lo cual no aportará mayor rendimiento dentro de un sistema silvopastoril, arrojando un comportamiento similar en los ciclos Primavera – Verano y Otoño – Invierno.





## 4. Marco teórico

### 4.1. Antecedentes

#### 4.1.1. Nitrógeno en los suelos

Las transformaciones de nitrógeno en el suelo mantienen el crecimiento de las plantas, generando estabilidad y funcionamiento saludable del ecosistema. Las aplicaciones excesivas de Nitrógeno, particularmente en forma de altos insumos vía fertilizantes, afectan negativamente las características del suelo, incrementando su salinidad y disminuyendo el pH; además de emitir óxido nitroso y amoníaco, contribuyendo a la contaminación atmosférica. Por lo tanto, comprender las transformaciones de nitrógeno en el suelo es fundamental para plantear estrategias para su disminución. Las vías dominantes del nitrógeno incluyen la mineralización de nitrógeno orgánico en formas disponibles para las plantas (a través de iones amonio y nitrato), consecuente a ello la nitrificación y desnitrificación, produciendo como resultado óxido nitroso y / o nitrógeno ( $N_2$ ) (Girkin y Cooper, 2023).

#### 4.1.2. Nitrógeno disponible para la planta

El nitrógeno es un macronutriente primario, vital para los procesos fisiológicos que no solo cumple con funciones clave a nivel estructural, sino que también tiene función metabólica en las plantas, por lo cual es insustituible para el ciclo de vida de las diferentes plantas (gramíneas, forrajes y vegetales). El nitrógeno también está presente en los diferentes tejidos ya que forma parte fundamental de la molécula de clorofila y constituye a las proteínas estructurales, funcionales (enzimas) y a las nucleoproteínas (ADN, ARN) (Sierra et al., 2019). En el suelo, el nitrógeno se encuentra siempre en dos formas principales: inorgánico, como nitrógeno mineral (~ 2%), y orgánico (~ 98%). Las formas inorgánicas incluyen amoníaco ( $NH_3$ ), amonio ( $NH_4$ ), nitrito ( $NO_2$ ), y nitrato ( $NO_3$ ), mientras que las formas orgánicas se encuentran en la materia orgánica viva (biota del suelo y restos animales y vegetales frescos) y en la materia orgánica no viva, incluidos los compuestos humificados y

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024





no humificados. El nitrógeno mineral está disponible para las plantas en dos formas, ya sea como nitrógeno amónico ( $\text{NH}_4 - \text{N}$ ) o como nitrógeno de nitrato ( $\text{NO}_3 - \text{N}$ ). El nitrógeno orgánico no está directamente disponible para las plantas y debe convertirse a través de un proceso lento (mineralización) en amonio (Vargas et al., 2022). El nitrógeno una vez disponible, atraviesa una competencia para su obtención entre plantas y microorganismos. Adicionalmente, ya sea por lixiviación, volatilización, erosión del suelo y desnitrificación, su disponibilidad afecta el crecimiento y el desarrollo vegetal. En ambientes naturales y agrícolas, se encuentra en bajas cantidades, debido a su escasez en muchas tierras de cultivo, el crecimiento y la productividad de los mismos se ven limitados, por ello, la producción de cultivos vegetales con altos rendimientos está asociados a la incorporación de grandes concentraciones de fertilizantes nitrogenados al suelo; sin embargo, los cultivos sólo son capaces de utilizar entre el 40-50 % del nitrógeno disponible (Vega, 2015) y un 25% del nitrógeno suministrado como fertilizante se pierde a través de la lixiviación y otros factores durante diversos procesos agrícolas, lo que genera acumulación en el subsuelo, desperdicios de la materia prima y contaminación en suelos, aguas y/o mantos acuíferos.

Para compensar la deficiencia de nitrógeno en el suelo enfocado a producciones agrícolas se introducen fertilizantes nitrogenados sintéticos a las actividades agropecuarias; los fertilizantes químicos se derivan del proceso llamado Haber-Bosch, un proceso de fijación artificial de nitrógeno, el cual es el principal procedimiento industrial para la producción de amoníaco a partir de la combinación de nitrógeno atmosférico ( $\text{N}_2$ ) con hidrógeno ( $\text{H}_2$ ). El amoníaco producido ( $\text{NH}_3$ ) se puede utilizar para producir muchos otros compuestos de nitrógeno como nitrato, amoníaco, amonio y urea (Soumare et al., 2020). Para la producción de fertilizantes nitrogenados se requieren grandes cantidades de energía proveniente de combustibles fósiles.

Una fuente de nitrógeno que no requiere energías de combustibles fósiles es la fijación biológica de nitrógeno; es así que la distribución, identificación y predicción





de las funciones de la diversidad microbiana contribuyen al manejo productivo e incrementa el rendimiento en cultivos agrícolas que pueden ser susceptibles a la desnitrificación, lixiviación y volatilización (Guzmán y Montero, 2021). Por lo tanto, la inserción de microorganismos es fundamental para mantener la producción de alimentos, así como la salud ambiental. Para lograr este objetivo, es esencial el desarrollo de una agricultura sostenible donde no exista el uso de agroquímicos y se reemplacen por procesos más sustentables o productos ecológicos que sean igual de eficientes y accesibles. Bajo esta premisa se ha promovido el uso de biofertilizantes teniendo en cuenta la importancia de las comunidades microbianas del suelo, así como la dinámica con las funciones benéficas y cooperativas para productividad agrícola (Beltrán y Bernal, 2022).

#### 4.1.3. Fijación Biológica del Nitrógeno

Actualmente, los investigadores han enfocado sus esfuerzos en buscar diferentes alternativas que sean capaces de disminuir la fertilización nitrogenada convencional debido a que el uso intensivo e irracional de este tipo de productos conlleva a impactos ambientales negativos en suelo y agua, incremento en los costos de producción así como daños a la salud de los productores (Ayvar et al., 2020). Por lo anterior, la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) resulta una estrategia factible para la biotransformación del nitrógeno y el desarrollo vegetal de los cultivos, al ser un proceso natural en el cual las bacterias fijadoras de nitrógeno pueden hacer disponible este elemento hacia el suelo, mejorando el rendimiento de los sembradíos y pasturas asegurando el desarrollo y la salud del ecosistema (Blanco et al., 2023). La comunidad microbiana del suelo capaz de realizar FBN está integrada por hongos filamentosos, hongos micorrizógenos orbiculares, bacterias y cianobacterias; pueden realizar la fijación del nitrógeno atmosférico y solubilizar el fósforo insoluble del suelo (Del Campo et al., 2022). La FBN ayuda a incrementar la fertilidad de los cultivos y favorece la condición de las pasturas, así mismo, realiza un servicio al ecosistema gracias al reciclaje de nutrientes, disminuyendo el uso de



productos químicos e industriales, los cuales generan impactos ambientales negativos con altos costos (Blanco et al., 2023). Por todo lo anterior, la FBN ofrece una ruta económicamente atractiva y ecológicamente racional para aumentar los suministros de nitrógeno en cultivos.

#### 4.1.4. Implementación de la FBN en sistemas de producción pecuaria

El uso de pasturas tropicales influye en la cantidad de proteína durante el pastoreo (Blanco et al., 2023). La familia *Fabaceae* se divide en las subfamilias *Caesalpinioideae*, *Mimosoideae* y *Papilionoideae*, las cuales albergan aproximadamente a 750 géneros y 20,000 especies en todo el mundo, tienen la capacidad de obtener buenos rendimientos de forraje a través de su biomasa (Bianco, 2020). A su vez, la FBN resulta ser un proceso clave en el incremento de la fertilidad de los cultivos y del suelo, así como su relación con la microbiología del mismo a través de la nodulación con bacterias en simbiosis con las raíces o con organismos de vía libre en el suelo (Revillini et al., 2016).

#### 4.1.5. Organismos fijadores de Nitrógeno

El nitrógeno molecular ( $N_2$ ) constituye casi el 80% de la atmósfera, pero metabólicamente es inaccesible para las plantas debido a la estabilidad del triple enlace covalente. Ya que no es biodisponible para la mayoría de los organismos, incluidas las plantas, el  $N_2$  debe reducirse a amoníaco antes de su incorporación a moléculas biológicas (Alvarez et al., 2021). La capacidad de catalizar la reducción enzimática de nitrógeno molecular a amoníaco está limitada a una variedad de procariotas definidas como microorganismos fijadores de nitrógeno o diazotróficos, mismos que están ampliamente distribuidos en todos los ecosistemas, ya sea como organismos de vida libre o en asociación simbiótica con varias plantas diferentes (Tabla 1). Estos procariotas fijadores de nitrógeno pueden ser anaerobios, facultativos, aerobios, fotosintéticos o no fotosintéticos; todos llevan a cabo la



reducción de nitrógeno por un complejo enzimático denominado nitrogenasa. Gracias a esta enzima se lleva a cabo un proceso de transmutación del nitrógeno molecular a amonio y este proceso se le conoce como fijación biológica de nitrógeno (Zúñiga, 2022). El nitrógeno reducido es absorbido por las plantas que forman moléculas orgánicas indispensables en los procesos metabólicos y para el crecimiento.

**Tabla 1. Organismos Fijadores de nitrógeno**

Procariotas fijadoras de N <sub>2</sub>	Géneros
Bacterias aeróbicas	<i>Azotobacter, Azospirillum.</i>
Bacterias facultativas	<i>Klebsiella, Bacilo.</i>
Fotosintéticas de bacterias anaerobias	<i>Cromacio, Clorobio.</i>
No fotosintéticas	<i>Clostridium, Desulfovibrio.</i>
Cianobacterias	<i>Anabaena, Nostoc, Calotrix.</i>

#### 4.1.6. Cianobacterias y sus generalidades

Las cianobacterias son organismos microscópicos capaces de realizar la fotosíntesis, captan el carbono de la atmósfera además de nutrientes y luz solar para fabricar su alimento, luego liberan oxígeno como producto de desecho; son organismos fotosintéticos que contienen los fotosistemas I y II localizados en unos sacos especializados para esta función, llamados membranas tilacoidales, son además, células que se caracterizan por presentar coloraciones verde azulada ocasionada por los contenidos de pigmentos como ficocianina, aloficocianina y clorofila a (Velázquez y Quesada, 2011; Pineda, 2022). Las cianobacterias son capaces de habitar en ecosistemas con condiciones de agua dulce y salada y habitan la tierra hace más de 2000 millones de años, por lo que son antecesores de las primeras plantas terrestres (Pineda, 2022). Estos organismos procariotas son capaces de realizar algunos procesos de vital importancia como la fijación de





nitrógeno atmosférico (Del Campo et al., 2022), ya que presentan diversos sistemas de almacenamiento para el Carbono (C) como gránulos de glucógeno, nitrógeno (cianoficina), fosfato (gránulos de ortofosfato) y la enzima RubisCO (carboxisomas) (Velázquez y Quesada, 2011).

Las cianobacterias pueden utilizarse como alimento, aportando valores nutricionales a través de la producción sostenible con un alto nivel de nutrientes, actualmente, hay productos con contenidos de cianobacterias, principalmente en suplementos alimenticios como cápsulas, tabletas y líquidos. Uno de los géneros mayormente comercializado es *Spirulina* (*Arthrospira*), a través de diversas pruebas, se evidenció estadísticamente que el uso de 1 kg de esta cianobacteria puede sustituir a 1000 Kg de frutas y verduras en términos de valor nutritivo (Soletto et al., 2005). Particularmente, *Spirulina platensis* se cultiva en fotobiorreactores a gran escala, obteniendo productos en escamas, tabletas o polvo, lo que evidencia la necesidad de una amplia investigación en la relación de alimentos funcionales con cianobacterias (Chittora et al., 2020). Desde el contexto industrial y ambiental, la intervención de las cianobacterias en los procesos resulta cada vez más notorio, así lo expone Revillini et al. (2016), quienes detallan que con la aplicación de cepas de cianobacterias, se han mostrado respuestas positivas en las fuentes de combustible alternativas y biorremediación a través de catalizadores bioquímicos. La diversidad de estos microorganismos en ambientes naturales como agua, suelo o a través de costras terrestres (humedad), permite entender que las cianobacterias no viven aisladas, sino que la competencia por los recursos y la cooperación entre ellos ejerce una asociación positiva para integrarse y el resultado de esta unión puede generar un gran potencial en aplicaciones biotecnológicas (Perera et al., 2021).

#### 4.1.7. Taxonomía de las cianobacterias

Tradicionalmente las cianobacterias presentan 4 órdenes:

\* *Chlorococcales*, las cuales presentan un talo unicelular o colonial.



- \* *Oscillatoriales*, que presentan un talo filamentoso homocistíneo
- \* *Nostocales*, quienes contienen un talo filamentoso heterocistíneo que no está ramificado
- \* *Stigonematales*: en las cuales, el talo es filamentoso heterocistíneo, pero, con ramificaciones verdaderas.

Estudios moleculares recientes (Hoffmann, et al, 2005) mencionan que esta clasificación ha sido modificada, principalmente por los resultados y la discusión que indica que la presencia o ausencia de ramificaciones verdaderas no es un carácter relevante para separar órdenes y proponen el agrupamiento de todos los talos filamentosos heterocistíneos dentro del Orden *Nostocales*, eliminando al Orden *Stigonematales* (Dvorák et al., 2017).

#### 4.1.8. Principales aspectos morfofuncionales

Morfológicamente, las cianobacterias son organismos autótrofos, esto quiere decir que su principal obtención de energía es a través de la fotosíntesis, pero una de las diferencias en comparación a otros organismos fotosintéticos, es que los pigmentos no se encuentran en los cloroplastos, sino en estructuras que no están delimitadas por membrana y que se encuentran libres en el citoplasma llamados tilacoides donde se albergan los pigmentos clorofila a y clorofila b. Paralelamente, también es el sitio donde se albergan carotenos y xantofilas (Mercado y Álvarez, 2022). Los primeros, son pigmentos orgánicos responsables de la gran mayoría de los colores verdes, contienen carbono e hidrógeno en sus moléculas; por su parte, las xantofilas contienen átomos de carbono, hidrógeno y, adicionalmente, por lo menos uno de oxígeno; algunos ejemplos son la luteína, zeaxantina, capsantina y astaxantina, pigmentos de coloración amarillenta, roja y anaranjada, respectivamente. Las ficobilinas son pigmentos de color azul (c-ficocianina) y rojo (c-ficoeritrina) se encuentran en la superficie de los tilacoides en forma de pequeños corpúsculos





(pequeños fragmentos de materia) (Quintana et al., 2018). Por su parte, los ficobilisomas son estructuras que captan la energía lumínica y a su vez, están ligadas a las membranas de los tilacoides de las cianobacterias, cumplen la función de enmascarar el color verde de la clorofila, responsables de otorgar el color verde-azulado que es característico del grupo. No obstante, según las condiciones ambientales, esta coloración puede modificarse y variar desde rojo, parduzco hasta violáceo (López, et al., 2020). El citoplasma contiene productos de reserva tales como gránulos de poliglucano, polímeros de glucosa similares al glicógeno y gránulos de cianoficina, polímeros de ácido aspártico y arginina que tienen la función de depositar nitrógeno (Mercado y Álvarez, 2022).

Las cianobacterias, presentan una gran heterogeneidad en su morfología. Se distinguen diferentes formas, tales como: Unicelulares, coloniales, filamentosas, con ausencia o presencia de ramificaciones (Petcheneshsky, et al, 2017). En función de la presencia de células se distinguen filamentos homocistineos (sin células diferenciadas) y heterocistineos (con células diferenciadas), las células vegetativas diferenciadas son los acinetos y los heterocistos. Ya que carecen de flagelos o cilios, no se observan formas móviles; las células vegetativas diferenciadas son los acinetos y los heterocitos: éstos mismos son de morfología variada y contenido homogéneo, su desarrollo es a partir de células vegetativas en una posición dentro del tricoma. Los heterocitos se entrelazan desde el extremo celular con las células vegetativas o con los acinetos mediante un poro especial denominado nódulo polar, Bold y Wynne (1985) mencionan que su función está relacionada con la fijación de nitrógeno atmosférico bajo condiciones de un déficit de nitrógeno combinado. Si bien, no constituye un carácter de diagnóstico en sí mismos, la posición que tengan dentro del tricoma y su ubicación con respecto al acineto son utilizadas para identificar a las especies taxonómicamente.



#### 4.1.9. El papel de las cianobacterias en el medio ambiente

Las cianobacterias son organismos procarióticos, fotótrofos y oxigénicos, debido a que poseen una gran resiliencia a condiciones de estrés ambiental como: temperaturas extremas, radiación ultravioleta, sequía, salinidad y ciclos rápidos de deshidratación, pueden colonizar entornos muy diversos tanto en ambientes terrestres como acuáticos, por lo cual son de gran importancia para los procesos biogeoquímicos (Hernández et al., 2016). Estos microorganismos son muy importantes ya que forman comunidades biológicas en la corteza del suelo, participan favorablemente en procesos biogeoquímicos y ecológicos (Del Campo et al., 2022), tienen relevancia en los procesos hidrológicos y mantienen la estructura del suelo. El éxito de las cianobacterias en los hábitats modernos pueden estar relacionadas con su larga historia evolutiva, uno de los primeros factores a considerar fue la composición cambiante de metales de los primeros ambientes durante el periodo en el que el oxígeno se liberaba por primera vez a la atmósfera, influyendo de diversas maneras en los ecosistemas (Toribio et al., 2022).

#### 4.1.10. El papel de las cianobacterias en el estado hídrico del suelo

Un componente que surge de la interacción del suelo con las cianobacterias son las biocostras, la relación que estas puedan tener con factores hídricos en el suelo tales como la evaporación, escorrentía, infiltración y humedad del suelo, puede modificar la rugosidad, el albedo, la porosidad y la retención de agua en el sustrato. Las costras con influencia de cianobacterias permiten incorporar nitrógeno y carbono al suelo, lo cual incrementa su estabilidad y protege de la erosión a causa del viento y de las precipitaciones; también tienen la capacidad de modular la infiltración para proteger la parte vascular de las plantas (Castillo y Maestre, 2011). Esta capacidad de resistencia a diferentes condiciones de estrés se debe gracias a la capacidad de las vainas de polisacáridos para absorber grandes cantidades de agua, los Exopolisacáridos (EPS) pueden atrapar partículas en el aire, lo que lleva a la



acumulación de nuevas capas de arcilla y arena aumentando la absorción del suelo y por ende ayudan a la infiltración del agua (García et al., 2023).

#### 4.1.11. Uso de cianobacterias como nuevas plataformas de producción enfocada a la agricultura

La necesidad de los productores agrícolas para obtener rendimientos en sus cultivos sitúa a la biofertilización como una alternativa útil que puede complementar a un sistema productivo. Debido a su condición de microorganismos fotosintéticos, las cianobacterias son uno de los futuros contribuyentes clave para ayudar a mitigar el cambio climático, ya que pueden utilizarse de varias maneras para reducir el carbono en la atmósfera (Pérez et al., 2020), además, este grupo de microorganismos cuentan con una diversidad bioquímica que incluye mejoras en los procesos químicos que incluyen lípidos, polisacáridos, proteínas, pigmentos, vitaminas y antioxidantes que son comercialmente valiosos, son de interés actual como una nueva fuente de biomasa para satisfacer las crecientes demandas mundiales de alimentos.

Actualmente, la tecnología más avanzada para la producción de biomasa de microalgas es la aplicación de fotobiorreactores (Kholssi et al., 2021); sus ventajas en comparación con otros sistemas de cultivo de microalgas (como estanques abiertos) son un mejor control de las condiciones de cultivo, un menor riesgo de contaminación por otros microorganismos (hongos, mohos, bacterias, protozoos, microalgas) y la operación a alta densidad de biomasa.

Estos microorganismos puede producir sideróforos, amoníaco y cianuro de hidrógeno, enzimas y fitohormonas que son capaces de regular la tasa de crecimiento y mejorar la nutrición de los cultivos agrícolas, manteniendo una relación respetuosa con el medio ambiente (Ali et al., 2021). De esta manera, las cianobacterias proporcionan una serie de funciones ecológicas que abren el abanico para su aplicación en la agricultura.



La inoculación de diversas especies de cianobacterias fijadoras de nitrógeno como las del género *Nostoc* en suelos degradados del trópico también han demostrado efectos benéficos respecto a la mejora de la calidad de las propiedades edafológicas y en la mejora del crecimiento de las plantas de vital importancia en el sector agroalimentario como el maíz (Maqubela et al., 2016)

## 4.2. Estado del arte

Las prácticas agrícolas convencionales generan un impacto negativo en la biodiversidad del suelo, las reservas de carbono se ven aminoradas y el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero hacen insostenibles a los sistemas de producción pecuaria para asegurar el suministro futuro de alimentos y fibras. Así mismo, los cambios en el clima y el uso convencional que la mayoría de los productores le dan a la tierra están afectando negativamente al ecosistema terrestre, lo que provoca una degradación trófica, como ejemplo más claro está la pérdida de diversidad microbiana, misma que puede afectar los servicios del ecosistema (Krause et al., 2022).

El Antropoceno ha generado una reestructuración en los agroecosistemas en cuanto a su balance energético; el estado actual de la agricultura con un enfoque industrial genera severas discrepancias que tienen como resultado perturbaciones ecológicas como por ejemplo, la pérdida de la microbiota en el suelo y por ende, la infertilidad del mismo (Rojo, 2023). Los agroecosistemas se encuentran entre los objetivos más complejos para la manipulación humana porque consisten en redes entrelazadas de interacciones formadas entre macroorganismos (como plantas e insectos) e innumerables microorganismos. En una era de degradación fisicoquímica y biológica de los suelos, maximizar las funciones microbianas o consorcios microbianos en los agroecosistemas determinará la funcionalidad de los ecosistemas, participando de manera relevante en los ciclos de nutrientes del suelo (Macías et al., 2021), a medida que nuevas cepas de plagas, el cambio climático y el suministro limitado de alimentos amenazan cada vez más la producción agrícola



estable. Lograr este objetivo, frente a la duplicación de la demanda mundial de cultivos para 2050, requiere soluciones rápidas e inmediatas (Krause et al., 2022).

En este mismo orden de ideas, las interacciones del bucle microbiano a nivel multi trófico mediadas por depredadores protistas, bacterias y virus deben de impulsar procesos eco y agro biotecnológicos como la biorremediación, el tratamiento de aguas residuales, la promoción del crecimiento de las plantas y el funcionamiento del ecosistema, lo que generará la probabilidad de una mejor gestión den la transición hacia prácticas más sostenibles (Muhammad y Moe, 2014).

La manipulación de los microbiomas del suelo para optimizar la productividad de los cultivos es una práctica antigua; los registros se remontan a -300 a. C.; es interesante notar que, aunque los microbiomas del suelo ahora se promocionan como la piedra angular de la próxima revolución verde, el primer bio inoculante comercial 'Nitrogin', fue patentado en 1896. Actualmente, el Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos (OMRI) enumera 174 productos en la categoría de 'inoculantes microbianos y 274 productos en la categoría de productos microbianos, ya sea como fertilizantes para cultivos o como manejo de instrumentos de cultivos Finkel et al. (2017) refieren que el número de publicaciones asociadas con los microorganismos promotores del crecimiento vegetal ha crecido exponencialmente desde la década de 1990.

Independiente del cultivo, el desarrollo de tecnologías analíticas de alto rendimiento, ha permitido realizar estudios cada vez más sistemáticos del contexto ecológico asociado a las plantas en el que los inoculantes microbianos podrían aplicarse; y de los mecanismos de control de las plantas sobre la colonización por microorganismos beneficiosos. Sin embargo, se necesitan enfoques novedosos para cerrar las brechas actuales acerca de la comprensión de los mecanismos y su actuar en los agroecosistemas, particularmente en el desarrollo biotecnológico ya que, las diferencias en sus prácticas, roles ha generado diferentes repercusiones sociales que afectan a los productores y trabajadores agrícolas, tanto en sus roles como en





sus prácticas, debido al surgimiento de una creciente segmentación entre los distintos grupos y actores sociales, según su adaptabilidad de carácter productivo para satisfacer las nuevas demandas del mercado y la competitividad (Hernández, 2023).

#### 4.2.1. Aplicación de las cianobacterias en la agricultura

Las cianobacterias son procariotas (divisiones *Cyanophyta* y *Prochlorophyta*), que son bacterias gramnegativas conocidas tradicionalmente como algas verdes azuladas; se encuentran como unicélulas o filamentos, solitarios o agregados en colonias, como organismos de vida libre o en asociaciones simbióticas con diatomeas, helechos, líquenes cícadas, esponjas, plantas y otros organismos (Barsanti & Gualtieri, 2023); son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo (descrito en menor medida) y asociarse con las raíces de las plantas, proporcionando nutrientes y provocando respuestas de defensa (Sithole et al., 2023). Cuando se aplican al suelo, la biomasa de microalgas puede mejorar propiedades físicas como la estructura del mismo y la retención de agua, por lo que una sus aplicaciones potenciales es como acondicionadores de suelos (García et al., 2023). Las microalgas exhiben un grupo de rasgos con un valor único para abordar este desafío en el escenario agrícola, ya que al componerse, principalmente de microorganismos fotosintéticos como las cianobacterias (organismos procarióticos), así como diatomeas y algas verdes (organismos eucarióticos), las microalgas mejoran la fertilidad del suelo y contribuyen al crecimiento y protección en los cultivos, ofrecen una alternativa para reducir la dependencia hacia los fertilizantes químicos y plaguicidas (Santhosh et al., 2016).

Entre otra de las funciones imprescindibles en el sector pecuario, se encuentra la fijación de CO<sub>2</sub>, a través de la fotosíntesis para la captura de carbono; algunos producen EPS que mejoran la estructura del suelo; en ambientes áridos y semiáridos, las cianobacterias son uno de los microorganismos más importantes



que forman comunidades biológicas de corteza terrestre que se reconoce que tienen un papel importante en los procesos hidrológicos, de erosión, biogeoquímicos y ecológicos (Chamizo et al., 2018). Debido a estas funciones reconocidas, la inoculación del suelo con estos microorganismos se impulsa como una técnica sostenible para mejorar la calidad del suelo y combatir los procesos de degradación en tierras secas. Los diversos efectos que la biomasa de microalgas tienen sobre los suelos y plantas, así como los diferentes mecanismos de acción (Figura 1), ofrecen la oportunidad de derivar potencialmente múltiples productos agrícolas ya que el estudio del comportamiento de microalgas se puede realizar bajo condiciones reproducibles y definidas (Nevarez et al., 2017).

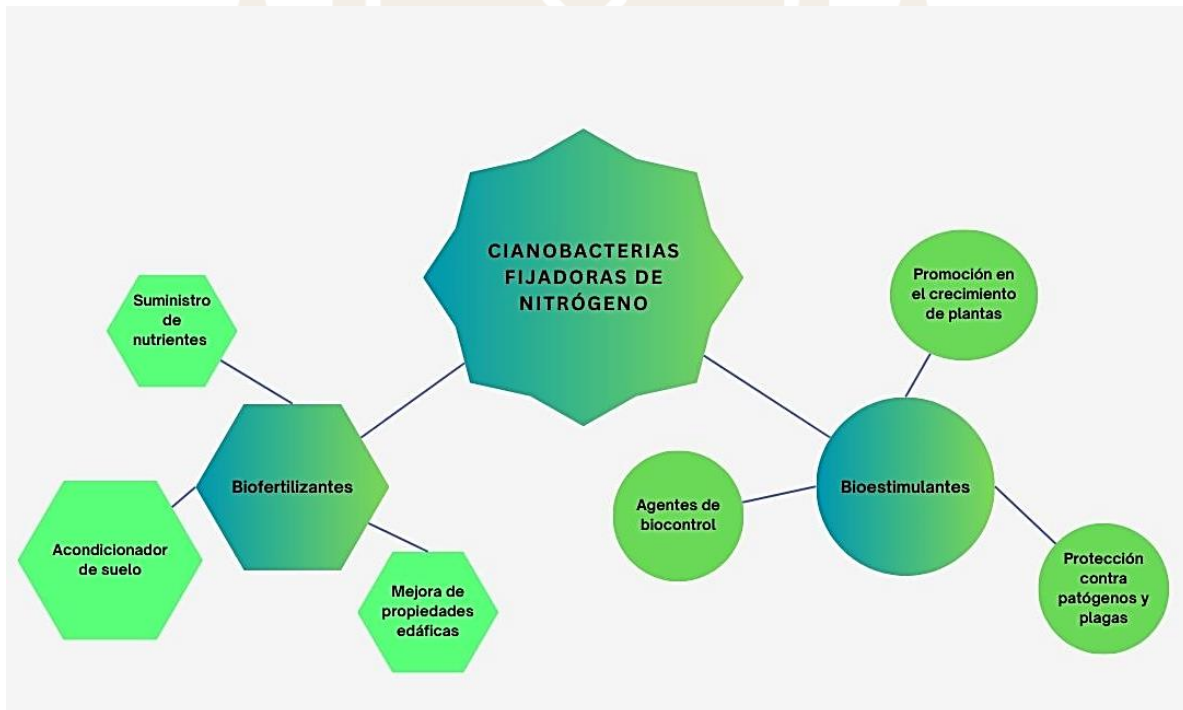


Figura 1. Efectos de las CFN en las plantas. Elaboración propia.

De acuerdo con las definiciones en evolución, la biomasa de cianobacterias también puede utilizarse como inoculante microbiano, su acción estará enfocada a mejorar el crecimiento de las plantas cuando se aplican a suelo, semillas o superficies de plantas al mejorar el suministro o la disponibilidad de nutrientes para la planta a



través de la actividad de microorganismos vivos (FBN). Cabe señalar que a diferencia de los diversos procesos industriales donde participan las cianobacterias, éstas no están limitadas a la estacionalidad, es decir, su cultivo y aplicación puede repetirse de manera continua y poder repetirse durante todo el año (Daneshvar et al., 2021).

#### 4.2.2. Restauración Ecológica

En la próxima Década, la Organización de las Naciones Unidas coloca como uno de los grandes desafíos globales tanto para científicos como para los profesionales la restauración de Ecosistemas, desarrollar un sector de producción que funcione bien sobre la base de un sólido proceso de selección de especies nativas que será de vital importancia para equilibrar la producción de cultivos con las funciones de la biodiversidad. Las técnicas a ejecutar deberán ser capaces de ofrecer mayor cantidad y calidad de alimentos, así como ser resilientes al cambio climático a través de modelos que se basen en el ahorro de tierra y agua, lo que implica fortalecer la pequeña producción y las prácticas agroecológicas, aumentando la productividad natural de los ecosistemas, aumentando su potencial biológico que no sean inherentes a la producción agropecuaria y forestal, especialmente alimentaria (Cruz et al., 2022).

Para la obtención de un adecuado equilibrio en el ecosistema, debe de existir un aprovechamiento eficiente de todos los estados bióticos y abióticos; la energía, el comportamiento de las plantas en el seguimiento solar, el uso eficiente de la energía, su almacenamiento e interacción de especies endémicas en un mismo sistema, se perfilan como estrategias para alcanzar el desarrollo sostenible (Sandoval, 2021).



#### 4.2.3. La implementación de la agroecología como estrategia sostenible

Actualmente, el rol de la sustentabilidad de la agricultura se encuentra en un gran riesgo, ya que la mayor parte de los modelos estadísticos enfocados a las variables climáticas, predicen que los daños serán de forma desproporcionada, resultando los pequeños agricultores los más afectados. Si bien, la tecnificación de la agricultura ha incrementado, observándose por momentos mayores rendimientos en los cultivos (por unidad de área), la producción de alimentos en el mundo ha estado basado en el uso excesivo de fertilizantes e insumos costosos (Ráudez y Rojas, 2021). Es así, que el surgimiento de la agroecología no emergió, en principio, como una ciencia sino como una perspectiva crítica y propositiva frente a las dinámicas ambientales y culturales de la agricultura como un encuentro de saberes, prácticas, discursos, que apuntan a la creación de nuevos sistemas enfocados a la producción y a la sustentabilidad, el cual propone nuevas formas de vida e interrelación con la naturaleza (Figura 2), mediante un enfoque sensible a las complejidades de las agriculturas locales (Lugo y Rodríguez, 2018).



Figura 2. Componentes de un Sistema Agroecológico. Elaboración propia

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024



#### 4.2.4. Sistemas Silvopastoriles (SSP)

Los SSP pueden presentarse bajo diferentes arreglos espaciales, combinan el uso de tecnologías y el de la tierra bajo la asociación de especies arbóreas con especies forrajeras y su interacción con animales; la sinergia que crean es la base en la producción animal y de alimentos de muchos productores, convirtiéndose en su actividad principal (Hernández et al., 2021). Su arraigo en América Latina y América del Sur es longevo, debido a la diversidad del uso de la tierra en las diferentes regiones templadas y tropicales del mundo, su implementación ha sido implementada a diferente escala territorial. Una adecuada gestión de silvopastoreo exige un dominio en el espacio territorial, así como en el tiempo, el productor debe de conocer el contexto de la interacción y de los límites dentro del ecosistema. El silvopastoreo, se basa en el dominio espacial temporal y exige habilidades en la gestión del sitio para reducir la complejidad del mismo (Jose y Dollinger, 2019).

Las técnicas tradicionales en el trópico mexicano generan altas tasas en la erosión hídrica, la siembra en laderas inclinadas, así como el uso de labranza mecanizada ha generado una alta degradación física en los suelos. El pastoreo intensivo impacta negativamente al suelo y a la flora de los terrenos donde se realiza el ramoneo; sin embargo, estos efectos negativos pueden ser aminorados con la inclusión de sistemas silvopastoriles, mediante la implementación de especies forrajeras anuales o perennes de ciclos más cortos, en un modelo de pastoreo racional con estratos intercalados (Sáenz et al., 2021). Una de las características clave en el rendimiento de los SSP, es el abastecimiento de forraje que pueden almacenar durante los largos periodos de estiaje, la elección de la especie arbórea a introducir en un SSP, permitirá estimar el rendimiento del forraje y la acumulación de nitrógeno, lo cual, al existir un intercambio de nutrientes, incrementará la calidad y el porcentaje de materia seca de las gramíneas asociadas (Baldassini et al., 2018).





Es así, que la productividad del ganado estará en función de la calidad de forraje ofertado, no obstante, las sequías, las precipitaciones y periodo invernal perjudica el rendimiento de las pasturas; el valor nutrimental y la calidad de los alimentos puede conocerse a través la composición química del forraje, dichos valores serán representativos del desempeño productivo (Cordero et al., 2018). La evaluación de la calidad de los forrajes inició en 1960 con el desarrollo de la técnica de Tilley & Terry, la cual fundamentó la búsqueda de la determinación para medir la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, consecutivamente, los métodos fueron más eficientes en la década siguiente con la técnica de Van Soest que comenzó a cuantificar los parámetros que son analizadas actualmente: Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Acido (FDA) y lignina. Actualmente, y junto con la prueba de medición de Proteína Cruda (PC), se constituyeron los elementos para evaluación de calidad forrajera (Di Marco, 2011).

Existen diferentes modalidades de SSP; sin embargo, las más utilizadas por sus buenos rendimientos en el trópico son las siguientes: Árboles dispersos en praderas; pastoreo en plantaciones forestales; pastoreo en plantaciones de árboles frutales; cortinas rompe vientos; cercas vivas; bancos de proteína y pasturas con árboles forrajeros en callejones en diferentes densidades. En Latinoamérica, la adopción de SSP intensivos (una variante de pasturas con árboles forrajeros en callejones), triplicó el rendimiento de forraje por hectárea al pasar de 175 a 733% , lo que a su vez mejoró la producción de doble propósito (leche y carne) de las unidades ganaderas de estudio (Chará et al., 2019). Un SSP con altas densidades de arbustos forrajeros en asociación con gramíneas adaptadas al trópico y árboles maderables nativos, o en su caso introducidos con pastoreo rotacional intensivo con cerco electrificado así como la disponibilidad de agua, permite maximizar altas cargas animales para lograr un buen rendimiento de carne y leche; la sombra dispersa de los árboles regulados por su dosel permitirá niveles adecuados de proteína; mientras que, la función de las arbustivas forrajeras mejorará el proceso de digestibilidad disminuyendo el estrés biótico, las pérdidas de agua y realizando

un adecuado intercambio de nutrientes a nivel Planta - Suelo – Atmósfera (Zepeda et al., 2021).

Sin embargo, el enfoque de estos sistemas también enfrenta retos nuevos (Figura 3), propios del siglo XXI, que han generado nuevos desafíos en la ganadería y en el desarrollo sustentable, dos áreas que tienen la necesidad de trabajar apegadas para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) por el bien de los sistemas de producción, del medio ambiente y de la sociedad.



**Figura 3. Retos de los Sistemas silvopastoriles. Elaboración propia.**

Entre los desafíos a los que se enfrenta un sistema productivo como el planteado aquí, resulta interesante analizar la relación entre la adaptación de las pasturas y la mejora de los parámetros productivos, de esta manera se puede permanecer en el mercado de manera vigente (Mahecha et al., 2022). A su vez, las nuevas exigencias del mercado por incluir dietas libres de contenidos que resulten dañinos con una supervisión cada vez más estricta por parte de los lineamientos internos de clientes o empresas que adquieren los productos, no obstante, si la producción de leche se desarrolló con un adecuado balance nutricional, libre de grasas, ésta adquiere un valor agregado (Elsabaawy & Gad, 2021). Por último, existe una gran brecha para



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERA  
CRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



42

poder estimar realmente los rendimientos de los SSP, ya que la mayoría se encuentra en regiones rurales donde no existe un sistema de registro para realizar un seguimiento. Por otra parte, la capacitación y formación técnica de los productores es vital para llevar a cabo las técnicas agroecológicas; prueba de ello es, que en la actualidad se pueden segmentar a dos grupos de productores que implementan alguna modalidad de SSP. En primer lugar, encontramos los sistemas, los cuales carecen de metodologías agronómicas, basando sus estrategias de manera empírica, se caracterizan por el uso de especies arbóreas endémicas, donde la población local obtiene recursos como leña, sombra y forraje. En segundo lugar, se encuentran los SSP mejorados, en ellos se registra una evaluación de los rendimientos y se aplican técnicas especializadas donde los datos obtenidos se estudian y evalúan en centros de investigación mediante técnicas especializadas como frecuencias de corte, bancos de proteína y cálculos para estimar la densidad de siembra (Zepeda et al., 2021).

La puesta en marcha de sistemas silvopastoriles se ha diversificado cada vez más, por lo cual es necesaria, la creación de redes institucionales en base a las experiencias de los distintos componentes de los SSP, para poder comprender las interacciones entre factores bióticos y abióticos como parte de un sistema ganadero sostenible (Vinoles et al., 2022).

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101

[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



200 AÑOS  
VERACRUZ  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



## 5. Metodología

### 5.1. Área y periodo de estudio

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz y en dos unidades experimentales de producción pecuaria del Rancho Loma Bonita, de la congregación Aguada Primera, Ozuluama de Mascareñas, Veracruz, México. Ozuluama colinda al norte con Pánuco y Tampico Alto; al este con Tampico Alto, Tamiahua y Tamalín; al sur con Tamalín, Tantima, Citlaltépetl y Chontla; al oeste con Chontla, Tantoyuca, Tempoal y Pánuco; presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (64%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (36%), con rangos de temperatura de 24 a 26°C y una precipitación media anual de 1 100 – 1 300 mm (CEIEG, 2022). Cuenta con una superficie continental de 2,391.1 km<sup>2</sup> de la cual según el 78.68% de la extensión territorial está dedicada a la ganadería, por lo que el 59.60% de las actividades están enfocadas hacia la producción de pastizales y el 9.2% dedicadas a la agricultura (Consejo de Planeación para el Desarrollo, 2022). El periodo de estudio se dividió en dos segmentos de estaciones. El primer periodo correspondió a la Primavera – Verano, el cual transcurrió desde el mes de febrero y concluyó en agosto del año 2023. El siguiente segmento de estaciones fue Otoño – Invierno, mismo que fue evaluado de septiembre a diciembre del mismo año.



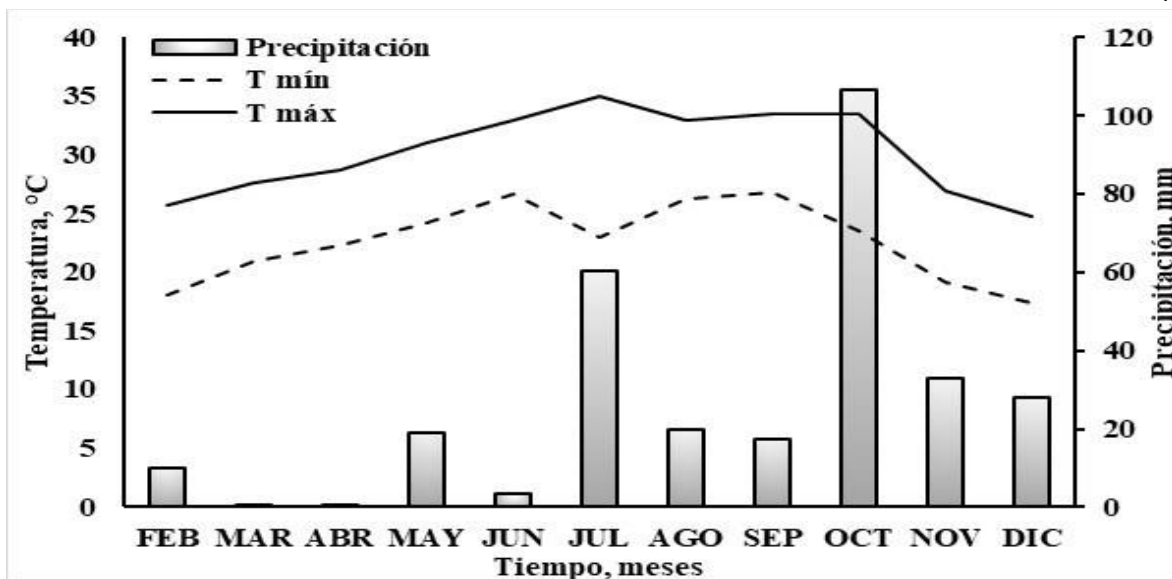


Figura 4. Temperatura media mensual máxima (T max) y mínima (T min) y precipitación mensual en Ozuluama de Mascareñas, Veracruz, México. Febrero-Diciembre 2023.

## 5.2. Descripción de los tratamientos

El diseño experimental para la biofertilización al sistema silvopastoril se constituyó por un testigo absoluto el cual fueron las parcelas denominadas Sin aplicación. Se estableció un tratamiento correspondiente al consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno, las parcelas que fueron evaluadas con el tratamiento fueron descritas Con aplicación. La dosis del consorcio de CFN fue de 500 mL por planta (Tabla 2), la fertilización fue aplicada previa a cada cosecha con una frecuencia de 56 días entre aplicaciones para un total de cinco repeticiones (cosechas).

Tabla 2. Tratamientos utilizados durante el diseño experimental

Tratamiento	Biofertilización CFN (%)	Repeticiones
Con aplicación	100%	5
Sin aplicación (Testigo)	0%	5



### 5.3. Variables de estudio

Para el estudio de las variables, éstas fueron agrupadas en dos tipos para una descripción adecuada en cuanto a su dimensión: variables medidas y variables calculadas.

#### 5.3.1. Variables medidas

Las variables agronómicas tales como: altura de planta, ancho (A), longitud (L) y número de hojas fueron calculadas con la medición de un flexómetro de 3 m de longitud (*PRETULI®*, Truper, México). La clasificación de la densidad del estrato herbáceo fue tomada con una cuadrícula metálica de 50 x 50 cm realizando un corte manual superior a 5 cm sobre el suelo. Así mismo, el peso verde del forraje de *L. leucocephala* y del estrato herbáceo fueron pesados en una báscula electrónica con capacidad de 5 kg (*ADIR®* 1676, Industrias Adir, China). Para el establecimiento de la dinámica del pH y la estimación de la influencia del consorcio sobre la capacidad de la conductividad eléctrica en suelo, fueron utilizados *in situ* un medidor portátil de pH (*HANNA®* HI 981030, Hanna Instruments, Italia) usando los criterios de interpretación de (Reyes, 1996) y de la NOM-021-RECNAT-2000, para C.E. se utilizó un medidor portátil (*HANNA®* HI 98331 Hanna Instruments, Italia) utilizando los criterios de interpretación de (Miliarium Aureum, 2004) y de la norma antes mencionada.



### 5.3.2. Variables calculadas

#### 5.3.2.1. Parámetros productivos

*Altura de planta (AP)*. Fue estimada como un promedio de las mediciones tomadas desde la base del suelo hasta el ápice de la planta, cada 56 días y se expresó en metros.

*Área foliar (AF)*. Fue obtenida a partir de la sumatoria de los resultados generados con la Ecuación 1:

$$AF = L \times A \times 0.34 \dots \dots \dots \text{Ec. (1)}$$

en función del total de hojas de la planta, expresada en  $\text{cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ .

Donde: L = longitud en cm y A = ancho en cm.

*Materia Seca de Leucaena (MSL)*. El resultado fue derivado de los pesos constantes de muestras de forrajes desecados en estufa de aire forzado a temperatura de 65°C, expresada en porcentaje y de acuerdo con la metodología 953.07 de la Association of Analytical Communities (AOAC) para la determinación de humedad y la Ecuación 2.

$$MSL = 100 - HL \dots \dots \dots \text{Ec. (2)}$$

Donde: HL = Humedad de forraje comestible de *Leucaena*

*Rendimiento de Materia Verde de Leucaena (RMVL)*. Para la integración de esta variable se incluyó el Peso Seco de Leucaena (PSL), el cual fue obtenido de los pesos constantes de las muestras de forraje desecados en estufa de aire forzado a temperatura de 65°C y de la densidad poblacional de planta sobre los  $\text{m}^2$ , y extrapolados a hectárea, reportados en  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . El cálculo del RMVL se expresa en la Ecuación 3:





$$RMVL = \frac{PSL \times \text{Densidad poblacional de plantas} / m^2}{1000} \dots\dots\dots \text{Ec. (3)}$$

*Rendimiento de Materia Seca de Leucaena (RMSL).* La estimación de esta variable se obtuvo incluyendo la *MSL*, expresada en  $kg \cdot ha^{-1}$ , a través de la ecuación (4):

$$RMSL = \frac{RMVL \times MSL}{100} \dots\dots\dots \text{Ec. (4)}$$

*Materia Seca del estrato Herbáceo (MSHB).* Los datos obtenidos fueron el resultado de los pesos constantes del estrato herbáceo desecados en estufa de aire forzado a temperatura de  $65^{\circ}C$ , expresada en porcentaje y de acuerdo con la metodología AOAC 953.07 para la determinación de humedad, los valores se integraron en la Ecuación (5) y el resultado fue expresado en porcentaje.

$$MSHB = 100 - \text{Humedad Herbácea (HHB)} \dots\dots\dots \text{Ec. (5)}$$

*Rendimiento de Materia Verde del estrato Herbáceo (RMVHB).* Para esta variable se integró el Peso Verde Herbáceo (PVHB) el cual fue obtenido del peso de las mediciones tomadas en campo, realizando un corte manual mayor a 5 cm sobre la base del suelo, fue tomada con una cuadrícula metálica de  $50 \times 50 \text{ cm}$ , extrapolada a hectárea y reportada en  $kg \cdot ha^{-1}$ , su estimación se calculó mediante la Ecuación 6:

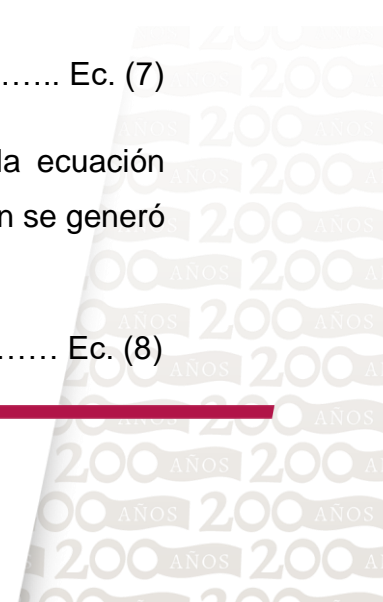
$$RMVHB = \frac{(PVHB \times 10000) / 0.25}{1000} \dots\dots\dots \text{Ec. (6)}$$

*Rendimiento de Materia Seca del estrato Herbáceo (RMSHB).* La estimación de datos se generó con los resultados del *RMVHB* y de la *MSHB* mediante la Ecuación 7, expresada en  $kg \cdot ha^{-1}$ :

$$RMSHB = \frac{RMVHB \times MSHB}{100} \dots\dots\dots \text{Ec. (7)}$$

*Rendimiento de Biomasa Verde Total (RBVT).* La construcción de la ecuación incluyó la suma de los datos de *RMVL* y *RMVHB*, para su determinación se generó la Ecuación (8) y se reportó en  $kg \cdot ha^{-1}$ :

$$RBVT = RMVL + RMVHB \dots\dots\dots \text{Ec. (8)}$$





*Rendimiento de Materia Seca Total (RMST)*. Para inferir esta variable, se realizó la Ecuación (9), expresándola en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ :

$$RMST = RMSL + RMSHB \dots\dots\dots \text{Ec. (9)}$$

*Índice de Verdor (IV)*. Se realizó la cuantificación de clorofila-a, la estimación fue en función de las concentraciones obtenidas en las muestras previas a cada cosecha en Absorbancias (Abs) de 645 y 663 nanómetros (nm), como se muestra en la Ecuación (10), expresada en  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ :

$$\text{Clorofila A} = (12.7 \times \text{Abs } 663) - (2.69 \times \text{Abs } 645) \dots\dots\dots \text{Ec. (10)}$$

### 5.3.2.2. Parámetros nutricionales

Para el caso de las variables correspondientes a las propiedades bromatológicas, tales como: MS, H, CT, PC, FDN y FDA se obtuvieron muestras de forraje del SSP en periodos de cosecha con frecuencias de muestreo de 56 días.

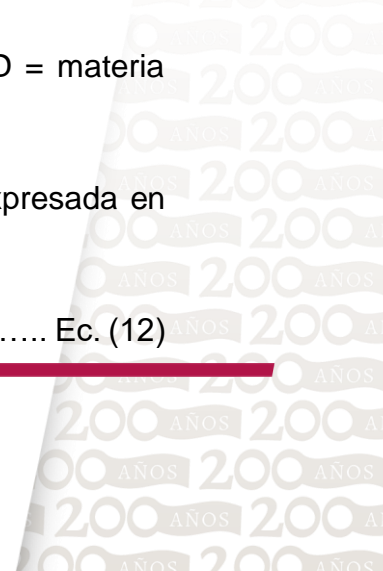
*Humedad (H) y Materia Seca (MS)*. Se estimaron utilizando una submuestra de forraje del SSP desecados previamente en estufa de aire forzado a temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$ , de acuerdo con la técnica AOAC 953.07 para la determinación de humedad en porcentaje. Se registraron los pesos constantes de las taras utilizadas durante las técnicas gravimétricas, los pesos de la materia fresca obtenidos en campo y los pesos constantes de la materia desecada. La obtención de la humedad se obtuvo mediante la Ecuación (11):

$$H = \frac{(T + MF) - (T + MD)}{m} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (11)}$$

Donde: m = muestra en gramos, T = tara, MF = materia fresca y MD = materia desecada.

La estimación de la Materia seca se calculó con la Ecuación (12), expresada en porcentaje:

$$MS = 100 - H \dots\dots\dots \text{Ec. (12)}$$





*Cenizas Totales en Base Húmeda (CTBH) y seca (CTBS).* Los datos obtenidos se estimaron con los pesos resultantes de la calcinación de la submuestra contenida en un crisol de porcelana en una mufla a 550°C por 4 horas, de acuerdo con la metodología AOAC 942.05. Los diferentes pesos obtenidos integraron las Ecuaciones 13 y 14, expresados en porcentaje:

$$CTBH = \frac{(Pc+C)-Pcs}{m} \times MS \dots\dots\dots Ec. (13)$$

Donde: m = muestra en gramos, Pc+C = *Peso del crisol + Cenizas*, Pcs = *Peso del crisol solo*

$$CTBS = \frac{CTBH}{MS} \times 100 \dots\dots\dots Ec. (14)$$

*Proteína Cruda en Base Seca (PCBS).* El contenido de proteína se realizó siguiendo la metodología AOAC 988.05 y se estimó en función de la normalidad del ácido y mL utilizados de Ácido Clorhídrico (HCl) durante una titulación volumétrica mediante la Ecuación (15), expresada en porcentaje:

$$PCBS = \frac{mLU \times N.A \times 0.014 \times 6.25}{m} \times 100 \dots\dots\dots Ec. (15)$$

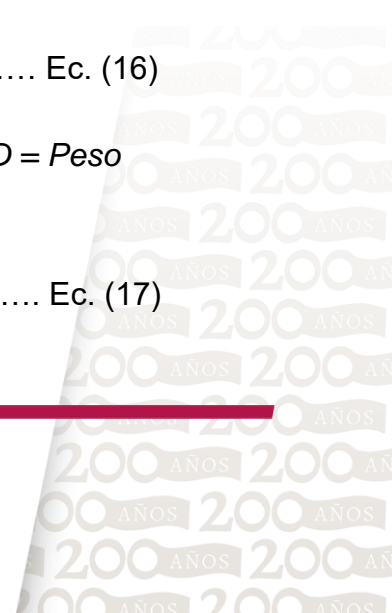
Donde: m = muestra en gramos, mLU = Mililitros utilizados, N.A = Normalidad del ácido.

*Extracto Etéreo en Base Húmeda (EEBH) y Base Seca (EEBS).* La obtención de esta variable fue siguiendo la metodología AOAC 930.09, integrando los valores obtenidos a la Ecuación 16 y 17, expresadas en porcentaje:

$$EEBH = \frac{(Pcs+gr.m)-(Pc+MD)}{m} \times MS \dots\dots\dots Ec. (16)$$

Donde: m = muestra en gramos, Pcs = *Peso del cartucho solo*, Pc + MD = *Peso del cartucho más Muestra Desgrasada*

$$EEBS = \frac{EEBH}{MS} \times 100 \dots\dots\dots Ec. (17)$$





*Fibra Cruda en Base Húmeda (FCBS) y en Base Seca (FCBS)*. Los datos fueron estimados siguiendo la metodología 989.03 de la AOAC integrados en las Ecuaciones 18 y 19:

$$F = MS - (\% \text{EEBH} + \% \text{CTBH}) \dots \text{Ec. (18)}$$

Donde: F = Factor, MS = Materia Seca, % EEBH = Porcentaje de Extracto Etéreo en Base Húmeda, % CTBH = Cenizas Totales en Base Húmeda

$$\text{FCBH} = \frac{(Pp+M)-Pps}{m} \times F \dots \text{Ec. (19)}$$

Donde: m = muestra en gramos, Pp + M = Peso del papel + Muestra, Pps = Peso del papel solo

La FCBS se determinó en la Ecuación (20) y se reportó en porcentaje:

$$\text{FCBS} = \frac{\% \text{FCBH}}{MS} \times 100 \dots \text{Ec. (20)}$$

Donde: % FCBH = Porcentaje de Fibra Cruda en Base Húmeda, MS = Materia Seca.

### 5.3.2.3. Variables de parámetros físico-químicos del suelo

Se obtuvieron muestras de un suelo Franco - Arcilloso siguiendo la metodología de la U.S.D.A (Departamento de Agricultura) por sus siglas en inglés. Se tomaron muestras previo a cada cosecha y aplicación del consorcio de CFN, el muestreo abarcó desde el mes de abril y terminó en diciembre. Se tomaron muestras en zigzag en cada una de las subunidades experimentales, a 30 cm de profundidad de manera homogénea hasta conformar una muestra compuesta de aproximadamente un kilogramo. Las muestras fueron etiquetadas para su identificación y analizadas bajo esta clasificación.





Para estimar la influencia del consorcio de cianobacterias sobre la capacidad de intercambio catiónico, potasio intercambiable, conductividad eléctrica y materia orgánica, así como establecer la dinámica del fósforo asimilable en suelo, las muestras fueron enviadas al Laboratorio Central Universitario de la Universidad Autónoma de Chapingo, basadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

Estudios, muestreos y análisis evaluadas se realizaron de la siguiente manera: Para la lectura de pH (AS - 02) se utilizó un potenciómetro con relación suelo - agua, 1: 2., la medición de la (MO; AS-07) fue mediante el método Walkley y Black. Para la cuantificación de Amonio ( $N-NH_4$ ; AS-25) se utilizó el método de oxidación con Óxido de Magnesio y destilado por arrastre de vapor. La caracterización de Nitratos ( $N-NO_3$ ; AS-08) se realizó con el método de reducción de Devarda y destilación por arrastre de vapor. El Potasio (K; AS-13) fue extraído en Acetato de Amonio 1.0 N, pH. 7.0, relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de emisión de flama. Para la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.; AS-12) se utilizó Acetato de Amonio 1.0 N, pH. 7.0 determinado por arrastre de vapor. Por último, para la identificación de Fósforo asimilable (P; AS-10) se empleó el método de Bray P-1, \*Olsen.

Los resultados obtenidos fueron comparados con métodos analizados en el laboratorio de química del Tecnológico Nacional de México Campus Tantoyuca (TECNM). Los análisis se desarrollaron en lapsos de 56 días previo a cada cosecha, se realizaron muestreos en cada unidad experimental a 30 cm de profundidad en zigzag hasta conformar una muestra compuesta siguiendo la metodología (AS-01) de la NOM-021-RECNAT-2000. Para M.O. se utilizó la metodología de (Muñoz, et al., 2000) mientras que para  $N-NO_3$  se desarrolló la metodología establecida por (Pansu & Gautheyrou, 2006).



## 5.4. Descripción y manejo del objeto de estudio

### Manejo holístico del rancho Loma Bonita

El sistema silvopastoril se estableció en el año 2011, las semillas de *L. leucocephala* y de pasto *M. maximus cv Miyagui* se esparcieron mediante siembra mecanizada con el apoyo de una sembradora de labranza cero (Sembradoras Dobladoenses®, RM2200, México). Los potreros no recibieron ningún tipo de fertilización y el establecimiento y manejo se realiza en condiciones de temporal. El rancho cuenta con zonas dedicadas al almacenamiento de bancos de proteína que contienen principalmente pasto *Brachiaria brizantha cv Marandú* y *M. maximus cv Miyagui* y cercos vivos donde predominan árboles de Copite (*Cordia dodecandra A.*). En el mes de octubre del 2023 se presentó una plaga ocasionada por gusano falso medidor (*Pseudoplusia includens (Walker)*) en las unidades experimentales de cinco años.

Para el manejo de los animales durante el estudio fueron utilizadas cuatro vacas y cuatro becerros de la craza Suizo-Cebú en sistema de doble propósito, las primeras con una edad aproximada de siete años y un peso promedio de 475 kg, los becerros fueron de una edad de ocho meses y 140 kg, respectivamente.

El manejo del pastoreo fue racional Voisin que consistió en la rotación de los animales utilizando un potrero por día con una superficie aproximada de 4500 m<sup>2</sup>, la alternancia de potreros fue en periodos de 24 h, se recorrieron un total de 60 potreros con dichos periodos de ocupación, el inicio de la ordeña se realizó a las 04:00 a.m., mientras que la rotación comenzó a las 11:00 a.m. Cada 60 días, mediante la observación del comportamiento animal se muestreó el forraje perteneciente al sistema silvopastoril.

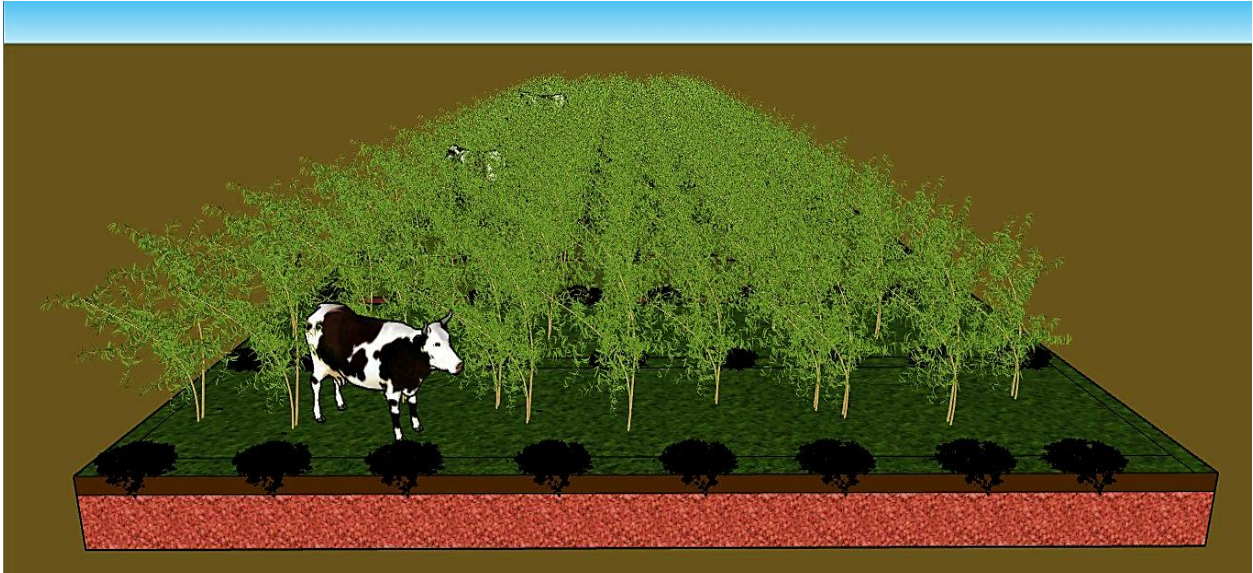


Figura 5. Representación del SSP estudiado. Elaboración propia.





## 5.5. Diseño experimental

El experimento correspondió a un diseño de Bloques al Azar en arreglo de Parcelas Divididas. El factor Edad del sistema silvopastoril fue considerado como efecto de Parcela Grande, en tanto la aplicación del consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno fue considerado como Parcela Chica con una dimensión de 24 m<sup>2</sup>, un aproximado de 40 plantas por unidad experimental y un espacio de 1.2 m entre surco y surco. El criterio de bloqueo fue la pendiente del terreno, definidas como pendientes baja y alta (Figura 5). También fue considerado como factor de estudio la estación del año, clasificadas como temporadas de primavera-verano y otoño-invierno.

El diseño experimental para la biofertilización al sistema silvopastoril se constituyó por un testigo absoluto el cual fueron las parcelas denominadas “Sin aplicación”. Se estableció un tratamiento correspondiente al consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno, las parcelas que fueron evaluadas con el tratamiento fueron descritas Con aplicación. La dosis del consorcio de CFN fue de 500 mL por planta, la fertilización fue aplicada previa a cada cosecha con una frecuencia de 56 días entre aplicaciones para un total de cinco repeticiones (cosechas).





UNIDADES EXPERIMENTALES. RANCHO LOMA BONITA.

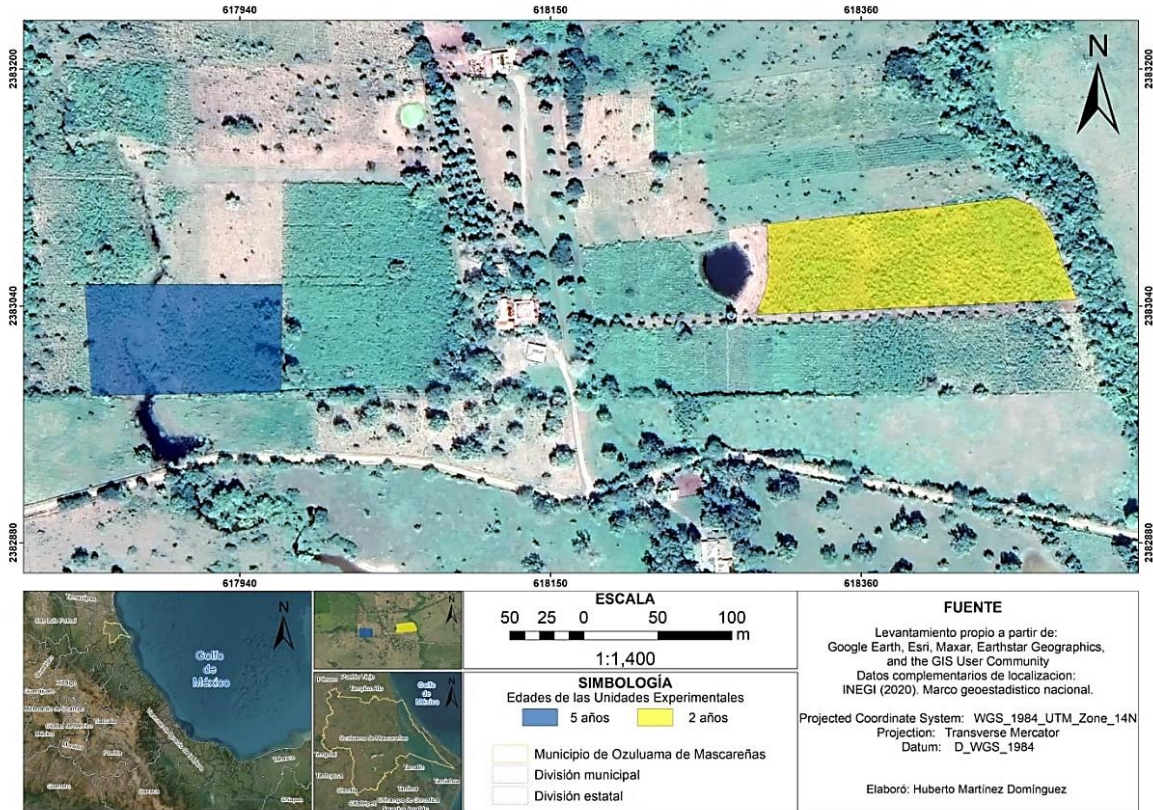


Figura 6. Factores del diseño experimental. Elaboración propia.





## 5.6. Análisis estadístico

Las variables agronómicas fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA) con un modelo estadístico que incluyó los efectos fijos de Edad (2 y 5 años), Consorcio (Con y Sin Aplicación) y Pendiente (Baja y Alta) como criterio de bloqueo, así como el efecto aleatorio de Estación del año como covariable. En el caso de las variables enfocadas a las propiedades fisicoquímicas del suelo se trabajó bajo el mismo modelo, sustituyendo la covariable del efecto aleatorio de Estación por la covariable Muestreo, haciendo referencia al tiempo inicial y tiempo final del mismo. En ambos casos, para los factores que resultaron significativos se realizó una prueba de comparación múltiple de medias con Tukey utilizando un  $\alpha = 0.05\%$ . Todos los análisis estadísticos se realizaron en el paquete R Proyect 4.4.0 y R Studio versión 2024.04.





## 6. Resultados y discusión

### 6.1. Parámetros productivos

#### 6.1.1. Altura de la planta

Los resultados evaluados para la AP no mostraron diferencias ( $P > 0.05$ ) con la aplicación del tratamiento del consorcio de CFN, ni con la pendiente del terreno; contrario a lo observado ( $P = 0.0006$ ) para los factores de Periodo evaluado y Edad ( $P < 0.0001$ ) que tuvieron efecto sobre esta misma variable, siendo que la altura de la plantación en el periodo OI y de cinco años superaron en 14.2% y 1.9 veces más a la altura del cultivo en PV y de dos años (Tabla 4). Para abordar lo observado; Rojas et al. (2021) refirieron que la altura de *L. leucocephala* en un SSP puede variar dependiendo de la densidad de plantas sembradas en función del desarrollo del cultivo, para ésta investigación se realizó una estimación poblacional obteniendo resultados de 16,700 plantas por hectárea<sup>-1</sup>, ésta cantidad se ajusta a los resultados estudiados por Murgueitio et al. (2016) quienes evaluaron diferentes densidades de siembra en el manejo de SSP teniendo a *L. leucocephala* como estrato arbóreo, en donde se estimó un rango para lograr los usos y beneficios de la FBN que va desde 16,600 hasta 22,000 plantas por hectárea<sup>-1</sup>. Las alturas mínimas y máximas variaron de 0.17 a 0.70 m y de 1.52 a 3.52 m para las plantaciones de dos y cinco años. La mayor altura de la plantación durante el periodo OI fue un efecto de la precipitación acumulada del ciclo anterior (Figura 4), lo cual coincide exactamente con lo reportado por Vite et al. (2020) en un estudio realizado en Tantoyuca a baja densidad con *L. leucocephala*.

#### 6.1.2. Área Foliar de la planta

El Área Foliar no fue afectada ( $P > 0.05$ ) por la aplicación del consorcio bacteriano ni por la pendiente del terreno, con un promedio de 3,001 cm<sup>2</sup>·planta<sup>-1</sup> (Tabla 4); éstos resultados coinciden con lo reportado por Hernández et al. (2021) quienes estimaron el rendimiento del forraje en función de la densidad de árboles de *L.*



*leucocephala* asociados a gramíneas en donde la mayor interacción fue de 15 a 35 mil plantas·hectárea<sup>-1</sup> (Fassola et al., 2006, Contreras et al. 2020), quienes atribuyeron que la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) puede ser regulada por el estrato arbóreo (intercepción de luz por el follaje); es por ello que Palazzini et al. (2023) afirmaron en estudios similares bajo el mismo arreglo, que la permeabilidad arbórea pudo haber influido en el desarrollo del comportamiento forrajero del SSP. Los factores Edad, Periodo y Tiempo mostraron efectos ( $P < 0.0001$ ) sobre ésta misma variable; la plantación de cinco años fue 3.81 veces superior a la de dos años, el periodo OI mostró un incremento en la producción 1.19 veces mayor en comparación al periodo PV; lo mismo sucedió con el Tiempo de muestreo, siendo que en el día 255 hubo un prominente crecimiento 13.48 veces mayor al día 30 (Figura 7). En este sentido, Pachas et al. (2018) determinaron que, factores como la fenología vegetal, arquitectura de la planta, edad, y especie son condicionantes para generar la competencia entre los árboles, así como para interceptar y modular la luz solar.



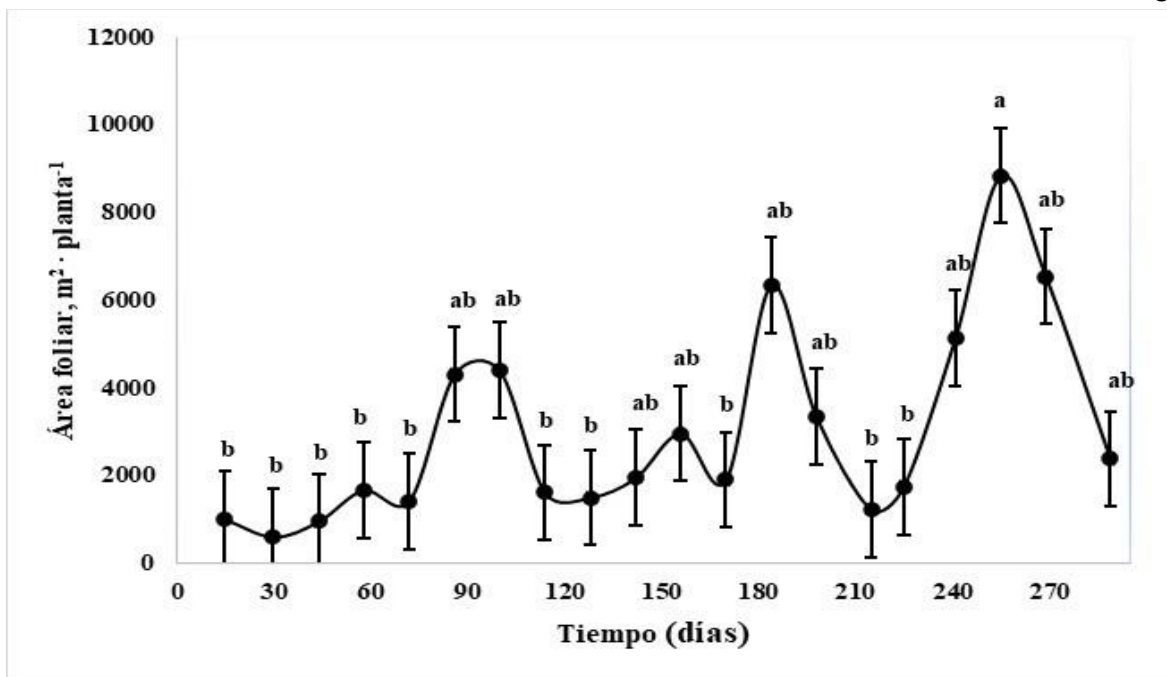


Figura 7. Efecto del tiempo de muestreo en el área foliar global de hoja de forraje de *Leucaena* en sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

Las máximas acumulaciones de AF se presentaron en los días 184, 255 y 269 pertenecientes al periodo OI (Figura 7), Vite et al. (2020) compararon mediante técnicas no destructivas el AF de procedencias distintas llegando a la conclusión que el estudio de la dinámica de esta variable funciona para estimar el punto máximo de acumulación de biomasa en un área de estudio específica y que puede utilizarse como un criterio de cosecha del sistema.

En la Figura 8 se aprecia el efecto ( $p=0.0103$ ) de la interacción Edad×Periodo sobre el área foliar en sistema silvopastoril, el periodo OI superó 11.1 veces el área foliar al de PV en el cultivo de dos años, en tanto que, el área foliar de PV superó en 1.1 veces al de OI en el cultivo de cinco años, evidenciando que el cultivo joven de dos años responde mejor a la precipitación acumulada y el cultivo adulto de cinco años responde mejor a las bajas precipitaciones. La interacción entre los factores Edad×Periodo de esta investigación es similar a la interacción presentada por Astúa et al. (2021), quienes obtuvieron un efecto positivo en la relación Edad×Nivel de



fertilización; en ambos estudios, se puede observar un aumento en la biomasa al incrementar la edad del cultivo, sin embargo, el crecimiento del AF disminuye cerca del día 40; por otro lado, la interacción que se observa en la Figura 4, además del efecto de la precipitación antes descrita, también se suma el efecto de una mayor radiación solar durante la sequía, y por tanto, un mejor aprovechamiento en la intercepción de luz así como un equilibrio en los procesos de fotosíntesis, balance energético y asignación de biomasa (Jaime et al., 2023).

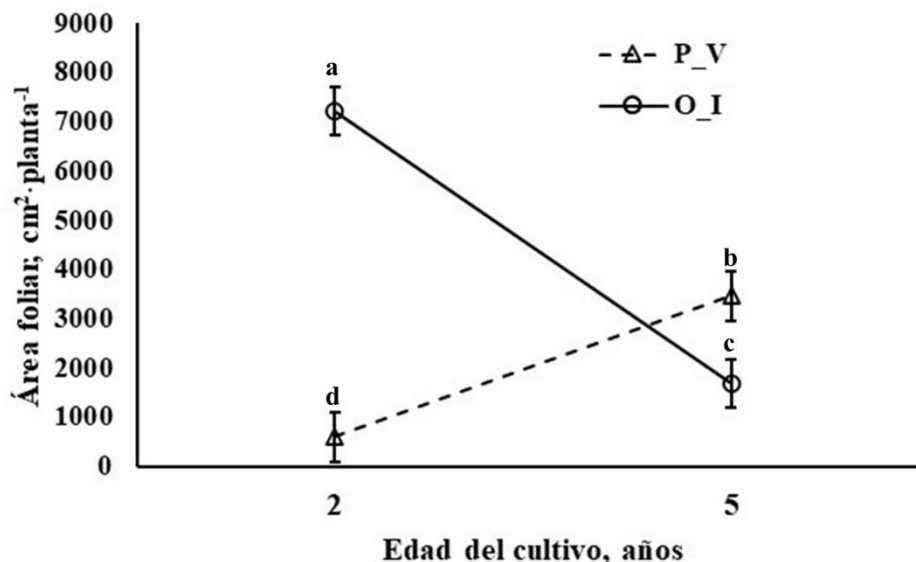


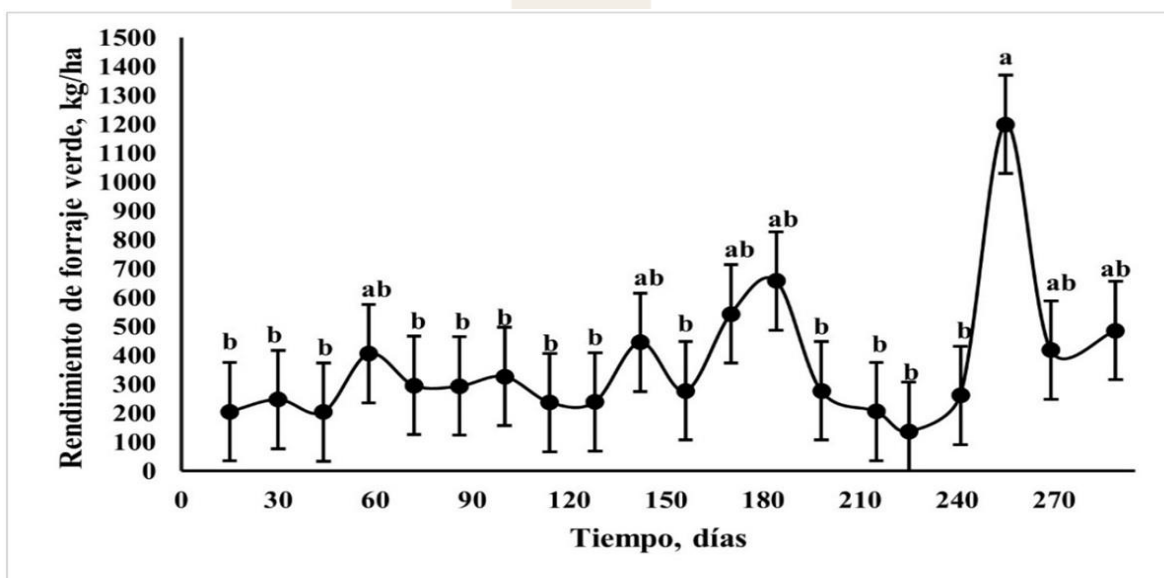
Figura 8. Efecto de la interacción Edad x Período sobre el área foliar global (cm<sup>2</sup>·planta<sup>-1</sup>) en sistema silvopastoril. <sup>a,b,c,d</sup> Medias con la misma literal no son significativas (P > 0.05; Tukey).

### 6.1.3. Rendimiento de Materia Verde de *L. leucocephala*

Los resultados obtenidos para esta variable no mostraron diferencias (P>0.05) en los cultivos que recibieron aplicación de cianobacterias, lo mismo ocurrió para el Período y el Bloque. A diferencia de estos factores, la Edad evidenció efecto (P<0.0001) sobre el RMVL; la productividad del forraje en el SSP alcanzó valores mínimos y máximos de 178 a 559 kg·ha<sup>-1</sup> para los sembradíos de dos y cinco años de manera conjunta (Tabla 4); asimismo, hubo una tendencia (p=0.0816) de que el RMVL fuera 60% superior durante OI que en PV para el cultivo de cinco años; los rendimientos observados fueron una respuesta al corte y frecuencia del mismo, el cultivo de cinco años logró una ganancia progresiva 2.13 veces mayor al cultivo de dos años en la producción de biomasa verde, este incremento fue en



respuesta a la emisión de follaje nuevo y aparición de nuevos tallos; al respecto, Hernández *et al.* (2023) realizaron intervalos de corte muy similares en época de lluvias (42 y 50 días) para facilitar el rebrote y producción de follaje de *L. leucocephala* y *M. maximus* cv. Tanzania, Fajardo *et al.* (2018) reportaron que las plantas tienden a sintetizar primero los azúcares, macro y micronutrientes en el crecimiento como estrategia de sobrevivencia, por lo que la competencia por el espacio disminuye aumentando la ganancia de crecimiento radicular (Hernández *et al.*, 2020).



**Figura 9. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia verde de forraje global de *L. leucocephala* en sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

Si bien la aplicación del consorcio de CFN no presentó diferencias ( $P > 0.05$ ), si promovió el aumento de follaje en la biomasa verde incrementando la solubilidad de fosfatos ( $PO_4^{-3}$ ) que está involucrado en el crecimiento, la floración y en los procesos de metabolismo energético celular, fotosíntesis, glucólisis, entre otros (Corrales *et al.*, 2014); el rendimiento más elevado fue de  $1,200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en el día 255, sin embargo, el promedio fue de  $369 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Figura 9); la interacción entre la gramínea y la planta forrajera incrementó la producción de materia verde en el periodo OI que es asociado al periodo de lluvias, dicha biomasa se mantendrá hasta la temporada de sequías, donde el rendimiento de los SSP han demostrado la capacidad productiva de éstos sistemas para asegurar la producción de alimento para el ganado (López *et al.*, 2019b). Por otro lado, el incremento de biomasa verde de los SSP tiene el potencial para aumentar reservorios de Carbono en el estrato



herbáceo del sistema y favorecer las características fisicoquímicas del suelo fijando materia orgánica (López et al., 2019a).

#### 6.1.4. Rendimiento de Materia Seca de *L. leucocephala*

La biofertilización con el consorcio y Bloque no mostraron efectos ( $P > 0.05$ ) en la productividad de esta variable (Tabla 4), el RMSL ( $178 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) se encontró dentro del rango asociado a la FBN en suelos agrícolas; Pincay et al. (2020) realizaron estimaciones similares con bacterias diazotróficas del género *Azotobacter*, por su parte Valles y Cadish (2010) obtuvieron valores de rendimiento menores con  $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en tres ecotipos de cacahuate forrajero en suelos Franco - Arcillosos muy similares a los obtenidos en esta investigación. Sin embargo, hubo una tendencia ( $p=0.0800$ ) de que el RMSL fuera 1.15 veces superior durante OI que en PV para el cultivo de cinco años. Asimismo, el RMSL del Periodo OI superó ( $p=0.0604$ ) en 81.2% al rendimiento de PV, como respuesta a la precipitación acumulada descrita anteriormente. La plantación de cinco años evidenció un rendimiento de 2.1 veces mayor ( $p=0.0015$ ) que la de dos años bajo una frecuencia de corte de 56 días, estos resultados coinciden con Gonzales et al. (2018) quienes reportaron el resultado de una biofertilización con *Azotobacter* – *Rhizobium* en *Lupinus mutabilis* y aprobaron el uso de la FBN como sustitución de la fertilización inorgánica al encontrar mejoras en las plantas y en los suelos agrícolas donde se realizó la aplicación. Sin embargo, de lo reportado para rendimiento en SSP, Hernández et al. (2020) evaluaron una asociación de *L. leucocephala* y *M. maximus cv. Tanzania* sometido a diferentes lapsos de descanso (20, 30, 40 y 50 días) en los cuales los rendimientos resultaron más bajos que en el presente estudio.

El factor Tiempo influyó ( $p=0.0300$ ) sobre el RMSL (Figura 10), el rendimiento más elevado fue de  $767 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en el día 255, momento que coincide con la precipitación elevada en el periodo OI.

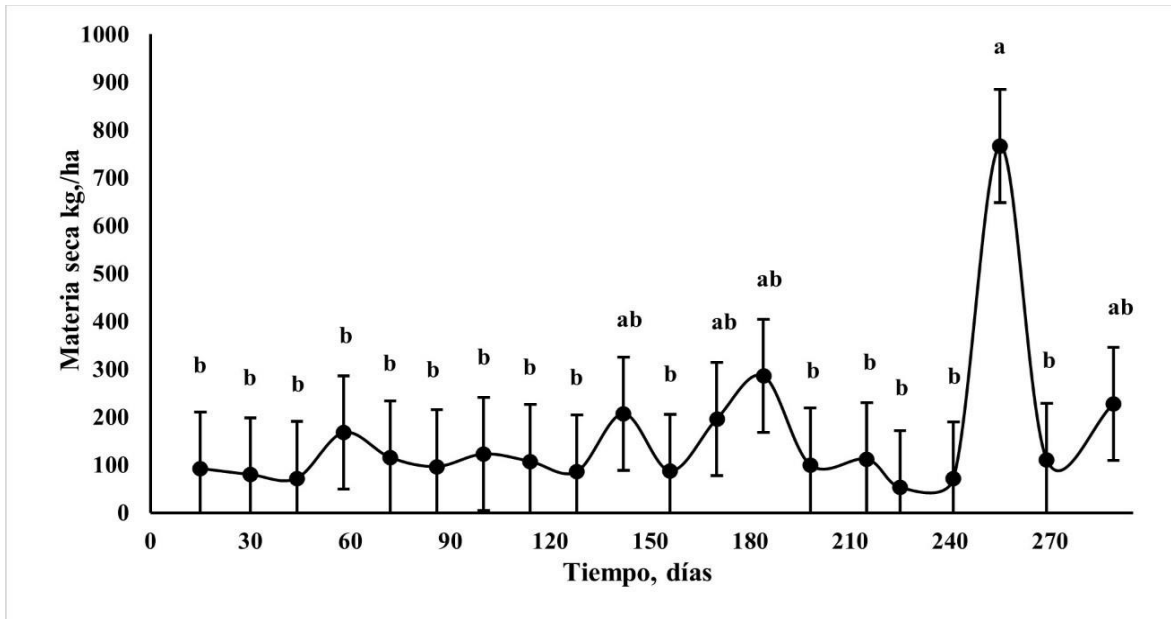


Figura 10. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia seca global de *Leucaena* en sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

### 6.1.5. Rendimiento de Materia Verde Herbácea

Los resultados evaluados para el estrato herbáceo no mostraron diferencias ( $P > 0.05$ ) con la aplicación del consorcio ni con el factor Pendiente como criterio de bloqueo, estos resultados refieren que el estrato herbáceo pudo haber sido afectado por una competencia constante en tiempo y espacio por los insumos naturales de producción, así como por la densidad arbórea, altura de planta y hora en que se realizó el muestreo (Ashworth et al., 2018, Contreras et al. 2020).

Los factores Edad, Periodo y Tiempo mostraron efecto ( $P < 0.0001$ ) sobre esta misma variable; el RMVHB de la plantación de cinco años de edad fue 1.02 veces superior en comparación con el rendimiento de la de dos años, lo mismo fue para el rendimiento registrado en el factor Periodo, siendo OI 1.06 veces más productivo que PV. Las especies herbáceas que se obtuvieron con mayor presencia y que integran la biomasa bajo el dosel arbóreo del SSP se muestran en la Tabla 3; estos resultados se asemejan a lo reportado bajo el mismo arreglo agroecológico y método de pastoreo que fue Voisin por Espinosa et al. (2020), quienes identificaron las mismas especies y familias de herbáceas predominantes.



**Tabla 3. Especies del estrato herbáceo obtenidas en sistema silvopastoril**

Hábito	Nombre común	Nombre científico	Familia
	Mozote	<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae
	Malva	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae
	Olivo	<i>Croon reflexifolius</i> Kunth	Euphorbiaceae
Hoja ancha	Pega pega	<i>Desmodium incanum</i> (Sw.) DC.	Fabaceae
	Guásima	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae
	Cornezuelo	<i>Acacia cornigera</i> (L.) Willd	Fabaceae
Hoja angosta	Pasto Miyagui	<i>Megathyrsus maximus</i> Jacq. cv Miyagui	Poaceae
	Pasto Estrella	<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vandyerst	Poaceae
	Pasto Carretero	<i>Bothriochloa pertusa</i> (L.) A. Camus	Poaceae

La máxima acumulación de biomasa verde se presentó entre el cuarto y el sexto muestreo ( $P < 0.001$ ), una vez iniciada la época de lluvias con un rendimiento de  $4,310 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Figura 11), éste comportamiento fue similar al reportado por Contreras et al. (2020) quienes registraron incrementos en el RMVHB durante el sexto muestreo, en un aproximado de 72 días; la variabilidad en RMVHB entre el inicio y fin de muestreo varió de  $160$  a  $4,120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y de  $560$  a  $10,360 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para los cultivos de dos y cinco años.



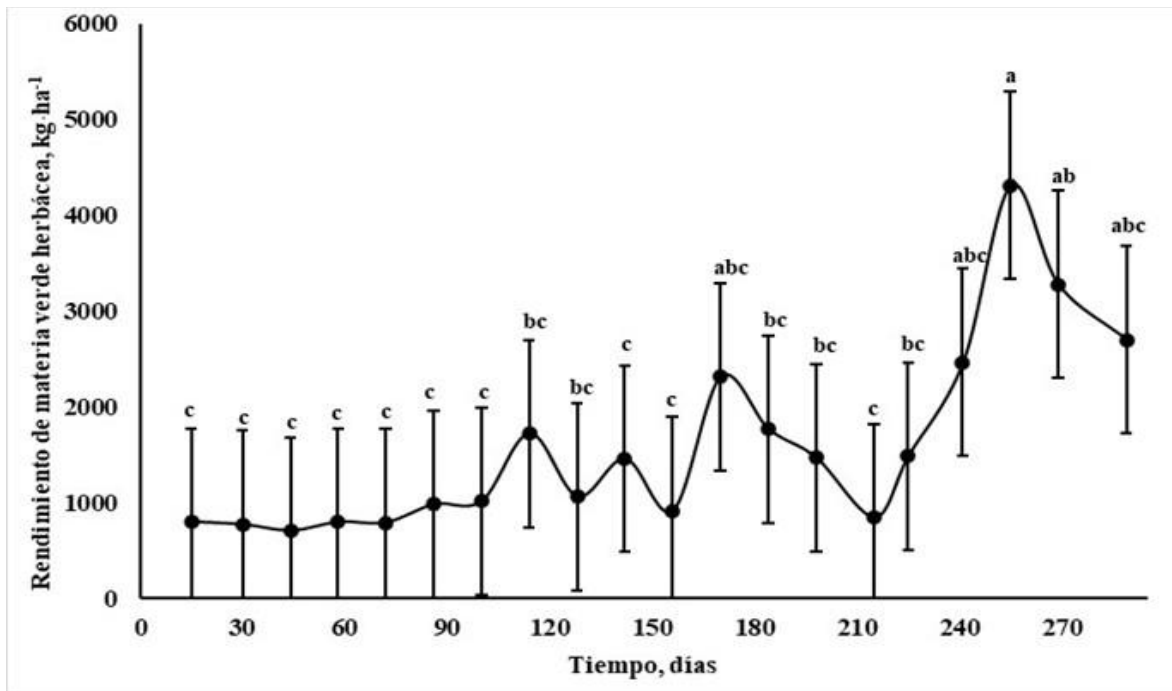


Figura 11. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia verde herbácea global en sistema silvopastoril. <sup>a,b,c</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

En los SSP, los lapsos de descanso para el rebrote, así como la cantidad de forraje residual después de la defoliación determinarán el rendimiento de la biomasa herbácea (Ramírez et al., 2010); en la Figura 12 se presenta la interacción Edad×Periodo sobre esta variable, en la cual el RMVH en OI y en el de dos años duplicaron a la PV y a los cinco años, siendo la diferencia más marcada para OI a los cinco años que fue 3.1 veces superior a PV a los dos años; aunque la productividad fue superior a la presentada por Jarillo et al. (2023), quienes también encontraron una interacción Grupo×Edad del rebrote en producción de forraje *Urochloa*, coincidiendo con este estudio en que la producción de materia verde aumentó con la edad de rebrote (Figura 12); el aumento en el rendimiento herbáceo puede relacionarse no solo a las precipitaciones acumuladas durante todo el año, sino a la mejora en el microclima originado por el SSP y a una mayor disponibilidad en la cantidad de humedad, éste tipo de similitudes fueron obtenidas en áreas similares en el estado de Veracruz por Martínez et al. (2020).

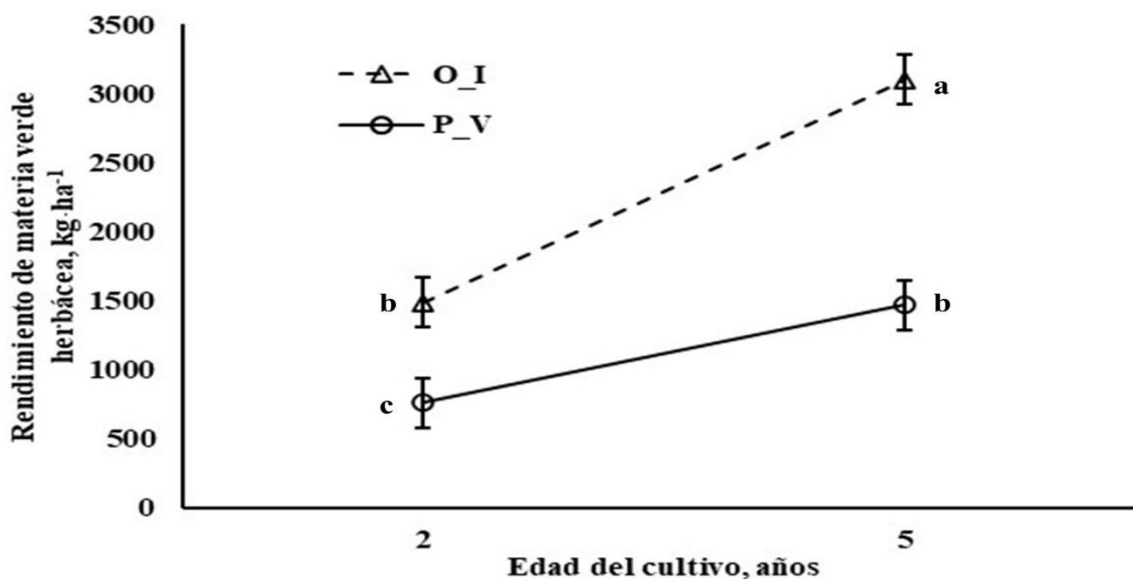


Figura 12. Efecto de la interacción EdadxPeriodo sobre el rendimiento de materia verde herbácea global en sistema silvopastoril. <sup>a,b,c</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

### 6.1.6. Rendimiento de Materia Seca Herbácea

La productividad del estrato herbáceo no fue afectada ( $P > 0.05$ ) por la aplicación del consorcio y ni por la pendiente como efecto de bloqueo, pero si ( $P < 0.0001$ ) por la Edad, el Periodo y el Tiempo (Tabla 4). El cultivo de cinco años superó ( $P < 0.0001$ ) en 93.4% la productividad en términos de RMSHB que el cultivo de dos años. Asimismo, durante el periodo OI se produjo 85.1% más ( $P < 0.0001$ ) RMSHB que en PV. La existencia de biomasa herbácea se estudió en todas las parcelas antes de cada periodo de pastura, al igual que Espinosa et al. (2020) quienes aplicaron el método Voisin en SSP con el objetivo de alcanzar la recuperación vegetal a través de la floración de herbáceas y pastos dominantes de mayor aceptación por el animal, como resultado se obtuvo una interacción entre los micrositios y las plantas herbáceas, las cuales generaron diferentes tiempos de recuperación en las parcelas Azuara et al. (2018). Los diferentes tiempos de muestreo y condiciones de temporal condicionaron el rendimiento de esta variable, tal como se puede ver en la Figura 13, con un rendimiento máximo a los 255 días debido al patrón de precipitación explicado anteriormente.

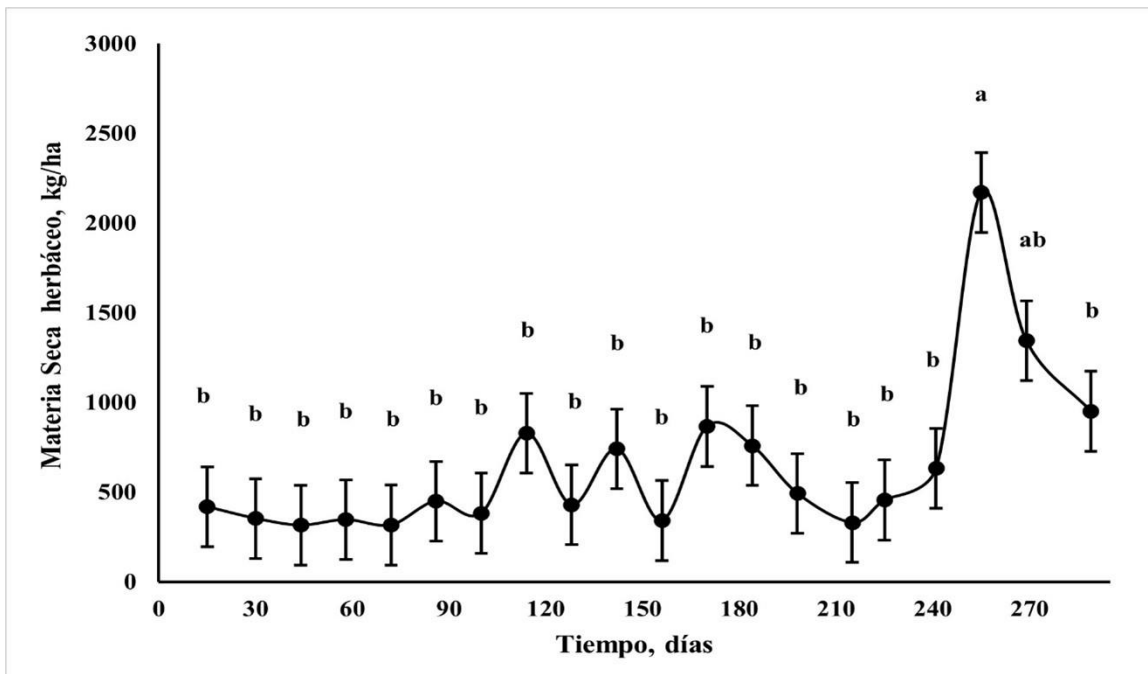
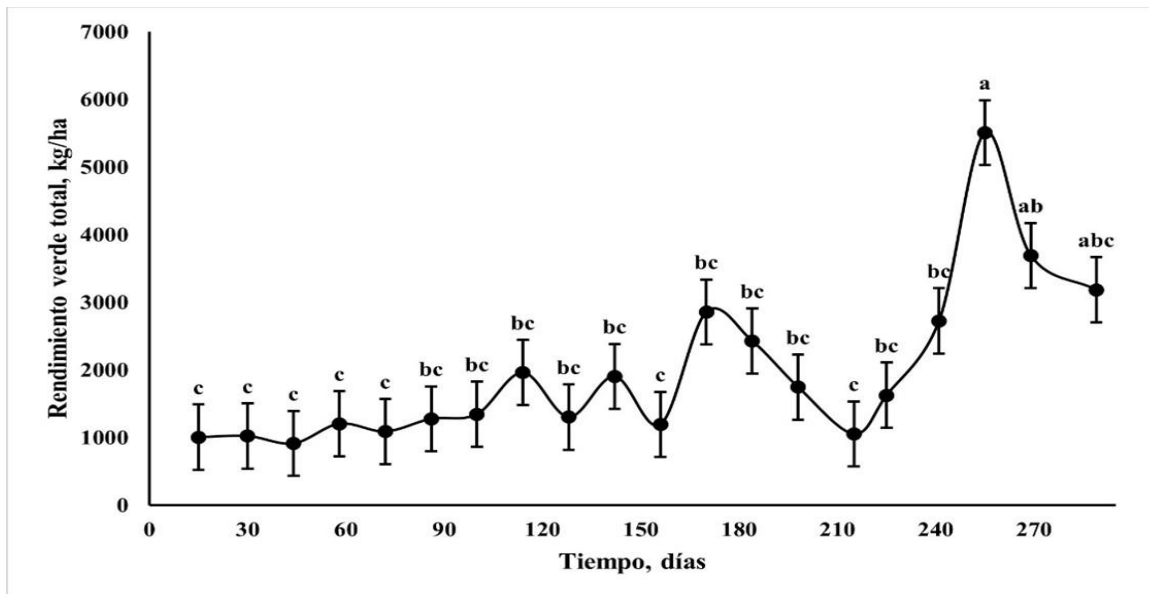


Figura 13. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia seca herbácea global en sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

### 6.1.7. Rendimiento de Biomasa Verde Total (RBVT)

El RBVT no mostró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) con la aplicación del consorcio de cianobacterias y ni por la Pendiente del terreno. Aunque, si se evidenció efecto ( $P < 0.0001$ ) sobre los factores: Edad, Periodo, Tiempo de muestreo y la interacción de la Edad por el Periodo. Las plantaciones de cinco años de edad mostraron un rendimiento 1.17 veces mayor a las de dos años, obteniendo como promedio de manera conjunta una producción de  $1,953 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ; el RBVT en el Periodo OI fue superior hasta en un 92.8% respecto a PV, con cifras mínimas y máximas de  $1,425$  y  $2,747 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ; éstos mismos valores se asocian a los resultados del tiempo de muestreo (Figura 14), debido a que desde el día 15 al 184 (PV) se mantuvo un rendimiento uniforme de manera conjunta de  $1,406 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , mientras que del día 185 al 289 (OI) el rendimiento experimentó una alza de  $3,595 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , principalmente debido al patrón de precipitación observado anteriormente.



**Figura 14. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de biomasa verde total en sistema silvopastoril. a, b, c Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

El RBVT máximo de ambas edades de cultivo en época de lluvias coincide con los resultados obtenidos por Hernández et al. (2020), quienes estimaron la productividad de la Biomasa en  $5,510$  y  $5,300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en un SSP integrado por *M. maximus cv. Tanzania* y *L. leucocephala* bajo un intervalo de 50 días de descanso; para la temporada de sequía los resultados nuevamente se asemejaron; esta investigación reportó  $1,425$  vs  $1,610 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  por parte de los autores antes mencionados. El crecimiento de biomasa verde estuvo condicionado por el tiempo de descanso que permitió una mayor acumulación y transferencia de nutrientes, así como el mejoramiento del suelo y del microclima Hernández et al. (2023), así mismo, Rojas et al. (2021) refieren que la mayor cantidad de rebrotes en la biomasa verde se atribuyó a una menor densidad de siembra, por consiguiente, se generó una disminución en la competencia inter específica de nutrientes, refracción solar y agua por planta, en contraste a ello, a mayor densidad de siembra se obtuvieron los mismos recursos en menor cantidad. La influencia que tuvo el consorcio cianobacteriano sobre el rendimiento de biomasa verde se debió a la FBN, gracias a la actividad que ejerció el nitrógeno amoniacal sobre el forraje, en donde la fijación de este elemento y la estimulación de fitohormonas (principalmente citoquininas) actuaron como precursoras del crecimiento radicular y de biomasa; al respecto, Guilcapi et al. (2019) mencionaron que lo anterior se



debe a que las fitohormonas promueven el crecimiento de tejidos meristemáticos, en los ápices radiculares, por tanto amplían el área basal de la planta.

El RMVT en OI y en el cultivo de dos años duplicaron a lo obtenido en PV y en el cultivo de cinco años, siendo la diferencia más marcada para OI a los cinco años que fue 3.1 veces superior a PV a los dos años (Figura 14). En este sentido, Garay et al. (2018) refieren que el rendimiento productivo que obtiene cualquier especie forrajera dependerá de la edad de la planta, el periodo climático, así como el manejo agronómico al que esté sometido. Sin embargo, la producción de biomasa puede presentar diferentes tipos de variaciones en función de la interacción entre las especies de plantas y de la captación de nutrientes del suelo, principalmente Fósforo (P), valores referentes al periodo y a la frecuencia de corte, así como de especies perennes utilizadas como *L. leucocephala*. Los rendimientos obtenidos coinciden con los reportados por Aguirre et al. (2012), quienes argumentan que la producción vegetal está aún más asociada a plantas que realizan simbiosis con microorganismos fijadores de nitrógeno, los cuales absorben P del suelo de manera más eficiente que plantas que no son colonizadas y, por lo tanto, su efecto puede verse reflejado en el crecimiento de follaje y en el transporte de P (Aguirre et al., 2018). Por último, los pastos tropicales, que tienen la particularidad de realizar la actividad fotosintética vía C<sub>4</sub>, pueden realizar una alta tasa de fotosíntesis, por lo cual, cuentan con la capacidad de producir grandes volúmenes de forraje (Hernández et al., 2023); la respuesta fisiológica del SSP evidenció, que ambos estratos de edad tuvieron un mejor rendimiento durante el periodo de lluvias, mientras que en el periodo de estiaje los cultivos mostraron menor rendimiento.

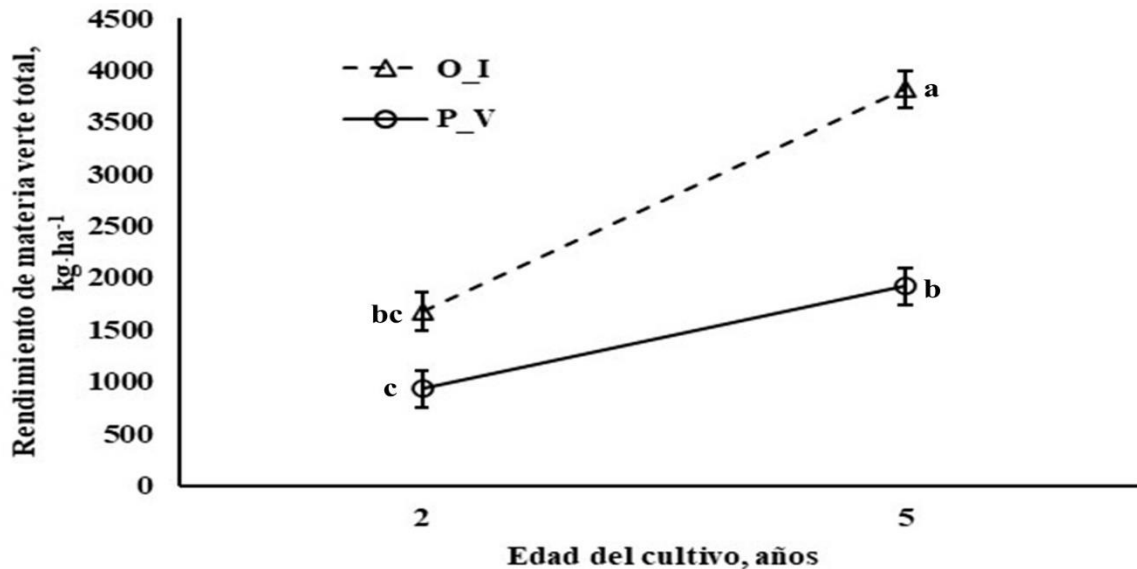
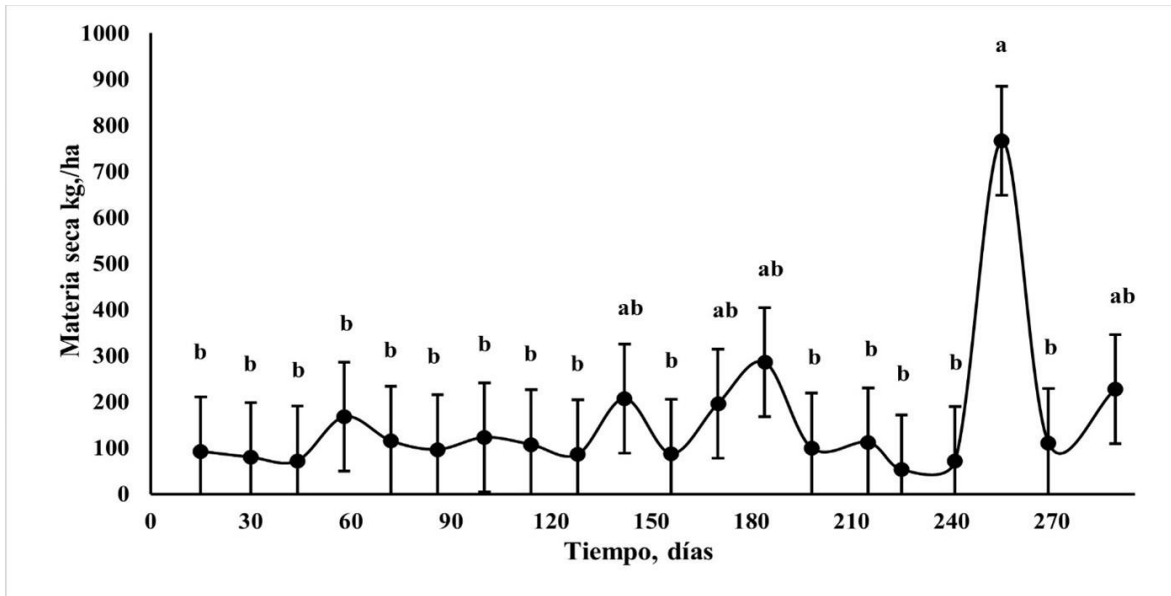


Figura 15. Efecto de la interacción EdadxPeriodo sobre el rendimiento de materia verde total en sistema silvopastoril. <sup>a,b,c</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey)

#### 6.1.8. Rendimiento de Materia Seca Total (RMST)

Como puede observarse en la Tabla 4, el tratamiento de CFN y la Pendiente del terreno no afectaron ( $P > 0.05$ ) al RMST en el SSP. En tanto, el Factor Edad influyó ( $P < 0.01$ ) sobre el RMST, siendo que el SSP de 5 años rindió 1.11 veces más ( $P < 0.0001$ ) forraje en comparación con el cultivo de 2 años; también se encontró significancia ( $P < 0.01$ ) para el factor Periodo, logrando en OI una productividad forrajera de 84.3% superior a la de PV; también, el Tiempo de muestreo afectó ( $P < 0.0001$ ) a esta variable, logrando un máximo de 2,937 kg·ha<sup>-1</sup> en el día 255 (Figura 16). Asimismo, hubo una tendencia ( $p = 0.0930$ ) de que el RMST fuera 83% superior durante OI que en PV para el cultivo de cinco años.



**Figura 16. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia seca total en sistema silvopastoril. a, b Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

El RMST obtenido en esta investigación fue superior a las estimaciones reportadas por Enríquez et al. (2020), quienes estudiaron la asociación entre *Leucaena* con pasto Estrella obteniendo una producción de 231 kg·ha<sup>-1</sup>; así como también fueron superiores a los resultados obtenidos por Gómez et al. (2019), reportando un rendimiento de 1,337 kg·ha<sup>-1</sup> en un SSP con *L. leucocephala* asociado con *Panicum Maximun* cv Tanzania, además, estos autores realizaron la inoculación de la semilla de *Leucaena* con *Azospirillum* y *Micorriza*, los cuales cumplieron funciones de fijación de nitrógeno y absorción de nutrientes; sin embargo, los valores obtenidos resultaron menores a los evidenciados por Roque et al. (2022) en donde se implementaron diversos SSP con pasto *B. brizantha* y franjas de *L. leucocephala*, obteniendo en promedio rendimientos de 6,000 kg·ha<sup>-1</sup> con un 20% de incidencia de malezas forrajeras. Al respecto, Sánchez et al. (2012) concluyeron que generalmente las malezas de hoja angosta tienden a ser las más dominantes en SSP, en tanto, Galvão et al. (2011) mencionaron que el nivel del rendimiento de esta variable en comparación con otros SSP resultó ser más bajo, esto puede relacionarse a la densidad arbórea elegida por el productor, mientras que Hernández et al. (2021) atribuyen este resultado a la distancia entre franjas o a la competencia entre árboles. Asimismo, Hernández et al. (2023) indicaron que el estrato arbóreo puede auto regular la cantidad de luz que penetra bajo su dosel a través de la poda, eliminando las ramas más antiguas y que



**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

**VERACRUZ**  
ME LLENA DE ORGULLO



72

pese a ello, Castillo y Jarillo (2020) informaron que los sistemas pecuarios tropicales han optado por emplear árboles semi o caducifolios, y que ésta serie de factores intervinieron en la respuesta al rendimiento, lo que condicionó el rendimiento del SSP.



2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101  
[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



**Tabla 4. Resultados de medias y significancias de variables agronómicas de un sistema silvopastoril.**

<b>Factor</b>	<b>AP</b>	<b>AF</b>	<b>RMVL</b>	<b>RMSL</b>	<b>RMVHB</b>	<b>RMSHB</b>	<b>RBVT</b>	<b>RMST</b>
<b>Consortio (C)</b>								
Sin	1.40 <sup>a</sup>	2880 <sup>a</sup>	341.67 <sup>a</sup>	137.8 <sup>a</sup>	1605 <sup>a</sup>	662 <sup>a</sup>	1946 <sup>a</sup>	800 <sup>a</sup>
Con	1.43 <sup>a</sup>	3121 <sup>a</sup>	395.40 <sup>a</sup>	177.8 <sup>a</sup>	1566 <sup>a</sup>	629 <sup>a</sup>	1961 <sup>a</sup>	807 <sup>a</sup>
EEM	0.03	354	50.09	35.4	98	57	113	70
<b>Edad (E)</b>								
2	0.73 <sup>a</sup>	1034 <sup>b</sup>	178.0 <sup>b</sup>	77.1 <sup>b</sup>	1051 <sup>b</sup>	440 <sup>b</sup>	1229 <sup>b</sup>	517 <sup>b</sup>
5	2.10 <sup>b</sup>	4968 <sup>a</sup>	559.0 <sup>a</sup>	238.5 <sup>a</sup>	2119 <sup>a</sup>	851 <sup>a</sup>	2678 <sup>a</sup>	1090 <sup>a</sup>
EEM	0.03	354	50.1	35.4	98	57	113	70
<b>Periodo (P)</b>								
PV	1.34 <sup>b</sup>	2032 <sup>b</sup>	310.4 <sup>b</sup>	119.1 <sup>b</sup>	1114 <sup>b</sup>	482 <sup>b</sup>	1425 <sup>b</sup>	601 <sup>b</sup>
OI	1.53 <sup>a</sup>	4454 <sup>a</sup>	455.8 <sup>a</sup>	215.8 <sup>a</sup>	2291 <sup>a</sup>	892 <sup>a</sup>	2747 <sup>a</sup>	1107 <sup>a</sup>
EEM	0.03	354	50.1	35.4	98	57	113	70
<b>Bloque (B)</b>								
Alta	1.49 <sup>a</sup>	3035 <sup>a</sup>	370.4 <sup>a</sup>	153.5 <sup>a</sup>	1532 <sup>a</sup>	601 <sup>a</sup>	1903 <sup>a</sup>	754 <sup>a</sup>
Baja	1.35 <sup>b</sup>	2966 <sup>a</sup>	366.7 <sup>a</sup>	162.1 <sup>a</sup>	1638 <sup>a</sup>	691 <sup>a</sup>	2005 <sup>a</sup>	853 <sup>a</sup>
EEM	0.03	254	50.1	35.4	98	57	113	70
<b>Significancias</b>								
E	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0015	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
C	0.5900	0.6300	0.4500	0.4300	0.7800	0.6820	0.9254	0.9430
P	0.0006	<0.0001	0.0470	0.0604	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
B	0.0092	0.8900	0.9600	0.8600	0.4477	0.2640	0.5253	0.3200
Tiempo	0.0600	<0.0001	0.0090	0.0300	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
E*C	0.2011	0.9800	0.5912	0.4800	0.3260	0.1840	0.5390	0.4690
E*P	0.8400	0.0103	0.0816	0.0800	0.0017	0.3320	<0.0001	0.0930
C*P	0.1400	0.9600	0.9800	0.9000	0.9706	0.4530	0.9674	0.5950
E*B	0.1038	0.7000	0.8800	0.8100	0.5133	0.8230	0.5276	0.9510
E*C*P	0.3800	0.4500	0.5900	0.8300	0.5926	0.3810	0.4807	0.4150

\*AP = Altura de planta, cm; AF = Área foliar, cm<sup>2</sup>/ planta; RMVL = Rendimiento materia verde de Leucaena, kg·ha<sup>-1</sup>, RMSL = Rendimiento materia seca de Leucaena, kg·ha<sup>-1</sup>, RMVHB = Rendimiento materia verde herbácea, kg·ha<sup>-1</sup>, RMSHB = Rendimiento de materia seca herbácea, kg·ha<sup>-1</sup>, RBVT = Rendimiento biomasa verde total, kg·ha<sup>-1</sup>, RMST = Rendimiento materia seca total, kg·ha<sup>-1</sup>

<sup>a,b</sup> Medias con la misma literal en columnas no son significativas (P > 0.05; Tukey)



### 6.1.9. Índice de Verdor

La biofertilización con el consorcio de CFN no afectó ( $P > 0.05$ ) el estado fisiológico de la planta, lo mismo ocurrió con los factores Edad y Bloque; en cuanto que, para el Periodo y Tiempo de muestreo si se encontraron efectos ( $P < 0.0001$ ) para esta variable (Tabla 5); el índice de verdor según (Silva et al., 2012) está relacionado al nitrógeno foliar proveniente de la fotosíntesis en función de la RFA y del contenido de MS de la planta (Congo et al., 2024).

**Tabla 5. Resultados de significancias del índice de verdor.**

Factor		Clorofila a	EEM
Consortio (C)	Sin	2.34 <sup>a</sup>	0.2636
	Con	2.27 <sup>a</sup>	
Edad (E)	2	2.54 <sup>a</sup>	0.2636
	5	2.07 <sup>b</sup>	
Periodo (P)	PV	2.87 <sup>a</sup>	0.2636
	OI	1.45 <sup>b</sup>	
Bloque (B)	Alta	2.18 <sup>b</sup>	0.2636
	Baja	2.43 <sup>a</sup>	
Significancias	E	0.0571	
	C	0.7584	
	P	<0.0001	
	B	0.2880	
	Tiempo	<0.0001	
	E*C	0.5083	
	E*P	0.6340	
	E*B	0.4390	
E*C*P	0.6008		

a, b Medias con la misma literal en columnas no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey)

Las frecuencias de corte realizadas cada 56 días durante la fase experimental reportaron interacciones y crecimientos similares a los utilizados por (Congo et al.,



2024), empleando también *L. leucocephala*. Las tasas de clorofila cuantificadas están estrechamente relacionadas con la condición nitrogenada del cultivo. Zavaschi et al.(2014) expone que las hojas son los órganos de las plantas que tienen una reacción más rápida a los cambios en el suministro de nutrientes en el suelo y en la adición de fertilizantes, acorde a esto, el descenso de concentración que mostró el sembradío de cinco años en comparación al de dos, se relacionó a que en edades tempranas la biomasa verde tuvo una mayor disponibilidad de follaje expuesto a la luz, esto permitió que a nivel funcional se fijasen mayores absorciones por parte de los cloroplastos, lo que según (Castellano et al., 2017), a nivel funcional generara una mayor cantidad de nitrógeno.

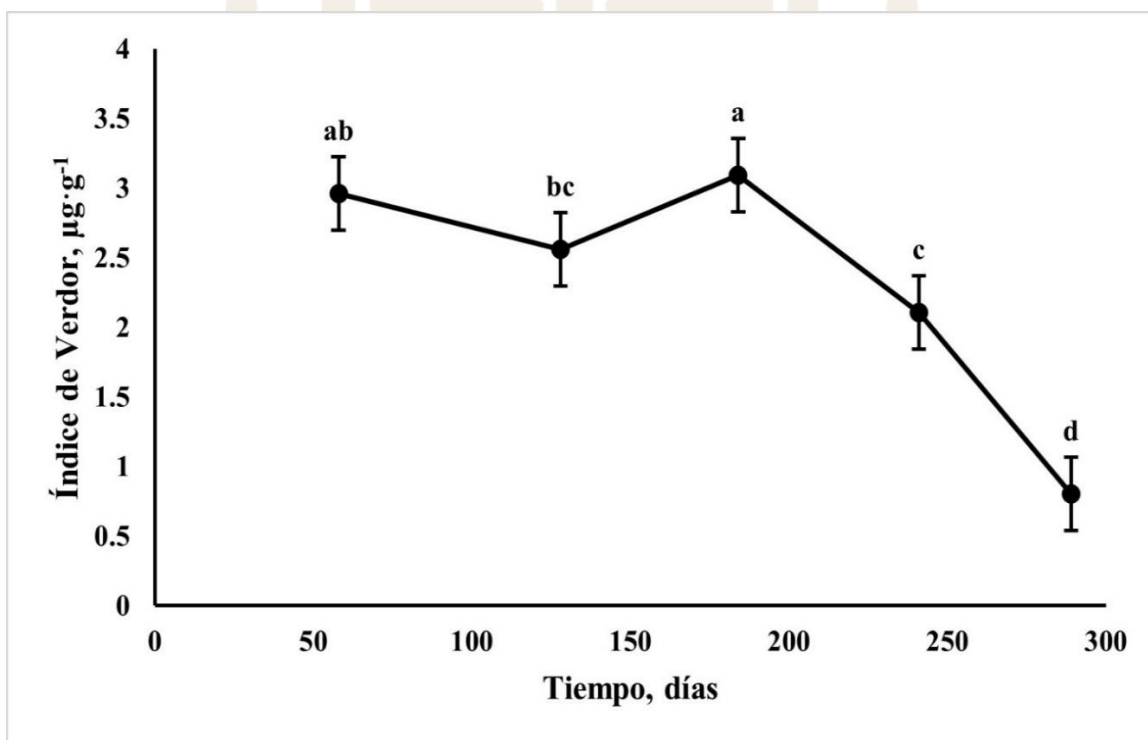


Figura 17. Efecto del tiempo de muestreo en el índice de Verdor global en sistema silvopastoril. <sup>a, b,c,d</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

La concentración de clorofila a fue 97.93 % superior durante el periodo PV en comparación a OI, con un rango de 1.45 a 2.87  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ; esta respuesta fotosintética es similar a resultados obtenidos por (Rosales-Loaiza et al., 2017) quienes





**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



76

realizaron cultivos a cielo abierto utilizando el género cianobacteriano *Anabaena*, mismo que se usó en esta investigación; para el Tiempo de muestreo la actividad fotosintética más activa se presentó durante el periodo PV en el mes de abril mientras que en el mes de diciembre el IV disminuyó hasta 2.86 veces.



2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101  
[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN





## 6.2. Resultados de parámetros nutricionales

### 6.2.1. Efecto del Extracto Etéreo en un sistema Silvopastoril

El consorcio de CFN no afectó ( $P>0.05$ ) sobre el contenido de extracto etéreo del forraje, aunque, los potreros con aplicación del tratamiento fueron numéricamente 30% superiores a los que fungieron como testigo, éste también fue el caso para la Edad, la cual no intervino ( $P>0.05$ ) sobre la composición nutrimental del SSP; a pesar de ellos, el promedio de EE en este sistema mostró valores que resultaron menores (3.61 vs 5.82%) a los obtenidos por Pérez et al. (2022) o Pérez et al. (2023), quienes implementaron *L. leucocephala* como especie arbórea forrajera en un SSP; así mismo, los Bloques ubicados en pendiente baja registraron numéricamente una concentración de 42% superior en esta misma variable con respecto a pendiente alta (Tabla 6), sin mostrar diferencias ( $P>0.05$ ). Por lo que se refiere al Periodo, el EE sí mostró afectación ( $P<0.05$ ), ya que se registró un alza en PV, siendo hasta 3.8 veces mayor que en OI; presentando valores máximos y mínimos de 6.05 a 1.27%; el promedio obtenido de este sistema fue de 3.7%, éste fue mayor a los reportados por Araiza et al. (2020); teniendo en cuenta que los autores antes mencionados evaluaron individualmente a *L. leucocephala* y en esta investigación se evaluó la composición nutrimental del SSP.

### 6.2.2. Efecto de la Proteína Cruda en un sistema Silvopastoril

La biomasa del consorcio de CFN no afectó ( $P>0.05$ ) sobre la PC del forraje; caso contrario sucedió con la Edad de los estratos de forraje, donde esta variable sí fue afectada ( $P=0.0087$ ); las plantas de cinco años de edad evidenciaron un contenido 69% mayor de PC en comparación con las de dos años de edad, para esta variable se mostraron valores máximos y mínimos de 25 y 15%; éstos valores contrastan con lo referido por Romero et al. (2020), quienes argumentaron que a medida en que los forrajes crecen conforme a su edad, también lo hacen el estado vegetativo y nutricional del mismo, disminuyendo el nivel de proteína, sin embargo, pueden existir cambios a nivel morfo y fenológico en cada especie forrajera, los cuales generan mecanismos de adaptación como el desarrollo de hojas más largas y menos gruesas para una mejor obtención fotosintética y disminuir la tasa de respiración. En cambio, el Periodo no afectó ( $P>0.05$ ) sobre la PC de éste SSP, presentando una tendencia a incrementarse en 30% con valores máximos y mínimos de 23



y 17% (Tabla 6), éstos valores resultaron superiores ( $>7.5\%$ ) a los obtenidos por Pérez et al. (2022) o Pérez et al. (2023), quienes indican que la calidad nutricional de los árboles forrajeros como *L. leucocephala* no se ven afectados en gran parte por los cambios estacionales, a diferencia de los sistemas tradicionales (monocultivo) que reducen su calidad nutritiva durante las sequías; la pendiente tampoco influyó ( $P>0.05$ ) sobre ésta variable.

### 6.2.3. Efecto de la Fibra Detergente Neutro en un sistema Silvopastoril

El consorcio de CFN no intervino ( $P>0.05$ ) sobre ésta variable, aunque numéricamente los potreros sin aplicación de cianobacterias demostraron ser mayores en un 18% en comparación a los estratos donde hubo aplicación, sin embargo, el promedio de FDN presente en el SSP fue de 54%; éstos valores resultan menores a los presentados por Martínez et al. (2019), quienes evaluaron *L. leucocephala* y diferentes gramíneas en diferentes arreglos como Árboles Dispersos en Potreros (ADP) y Pastura en callejones (Pc), así como en monocultivo tradicional; la Edad del SSP tampoco afectó ( $P>0.05$ ) sobre esta variable; aunque el comportamiento en las parcelas de dos años de edad fue numéricamente superior en un 20% a los de cinco años, evidenciando valores máximos y mínimos de 58 y 49%; tampoco la pendiente influyó ( $P>0.05$ ) sobre esta variable, con solo una variación numérica del 13% entre las pendientes alta y baja (Tabla 6).

También puede observarse en la Tabla 6 que el Periodo afectó ( $P<0.05$ ) sobre la FDN; ya que durante OI la composición nutrimental evidenció una superioridad ( $P=0.0023$ ) del 75% en comparación a PV, con valores máximos y mínimos de 68 y 39%; de igual modo, la interacción entre la Edad con el Periodo mostró efecto ( $P=0.0300$ ) sobre esta variable; éstos valores resultan menores a los presentados por Santiago et al. (2016), quienes evaluaron un SPP de *L. leucocephala* asociado con pasto Estrella en un lapso de 56 días de rebrote en época de lluvias, similar a lo establecido en esta investigación; los valores en aumento de PC durante las sequías y el aumento de FDN y FDA en época de lluvias (OI) sugiere que la



ausencia de agua en el sistema, retarda la madurez fisiológica, por lo tanto, al existir mayor crecimiento también crece la demanda de metabolitos de contenido celular formando tejido estructural en la planta (Martínez et al., 2016), con respecto al uso de CFN como tratamiento sobre forraje, éste se puede relacionar al aumento de fibra y la disminución de proteína durante el periodo OI ya que el decremento en la producción de citoquininas inducen a una degradación de proteínas en las hojas (Ramírez et al., 2019), a través de la liberación de compuestos nitrogenados como aminoácidos y hormonas depositados en el floema, éstos son reincorporados al sistema interno de la planta, los cuales podrán participar en la regulación y desarrollo en la respuesta al ataque de patógenos presentes en el cultivo Zúñiga et al. (2017); es así, que con la implementación de distintos tipos de arreglos de SSP se puede ofrecer una mayor oferta forrajera bajo diferentes acomodos y estratos, desde plantas leñosas perennes (árboles y/o arbustivas), leguminosas (rastreras, arbustivas) y gramíneas, que a su vez proporcionan mayores aportes nutricionales comparado con sistemas convencionales (Argüello et al., 2019); es por ello que es de vital importancia para los productores identificar el plan de alimentación más acertado para los animales, ya que la ingesta de alimentos es la principal fuente para obtener los diferentes nutrientes que permiten llenar los requerimientos de mantenimiento y producción (Osorio et al., 2024), tales como proteínas, lípidos, vitaminas y carbohidratos, de manera que éstos últimos sean consumidos por el animal en menor cantidad pero con suficiente proteína (Martínez et al., 2019), es por ello que los requerimientos nutricionales permisibles de fibra detergente neutro en bovinos según National Research Council (2001) deben de estar en un rango de 25-33%, cantidad óptima para que los carbohidratos estructurales estén en balance así como la funcionalidad del rumen, pese a ello, la utilización de *L. leucocephala* como estrato arbóreo se clasifica como un forraje voluminoso que podría condicionar la degradación eficiente del rumen, lo cual limitaría el rendimiento del animal (Vite et al., 2019); altos niveles de fibra como los obtenidos en esta investigación se pueden relacionar a diferentes factores como dietas fibrosas (pastos maduros o semillados) durante el ramoneo donde intervienen factores como





la edad del forraje o gramínea, frecuencia de corte (estado avanzado o tardío), además, en las zonas tropicales las altas temperaturas incrementan la lignificación de los tejidos vegetales trayendo como consecuencia la reducción de la digestibilidad en el animal (Mendoza et al., 2014), es por ello que las variables como la degradabilidad de la MS, hidrólisis de la fibra y la producción y rendimiento de leche dependerán no solo de la especie y cantidad de forraje ofertado, sino también del manejo, calidad y el número de ingredientes incluidos en la dieta (Tirado et al., 2017).

En la Figura 18 se aprecia el efecto ( $p=0.0300$ ) de la interacción Edad $\times$ Periodo sobre la FDN, esta variable en OI para el cultivo de dos años superó en 50% más al cultivo de cinco años, en tanto, para PV en el cultivo de cinco años la FDN fue 20% mayor que en la de dos años. No obstante, los resultados nutricionales fueron similares a los presentados por Alvarado et al. (2022), el porcentaje de FDN (76%) se incrementó con el uso de *L. leucocephala* como estrato arbóreo en un SSP, debido al aumento en la cantidad de materia orgánica existente en el sistema en asociación con el aumento de residuos de material muerto, lo cual contribuye a una mayor cantidad de carbohidratos estructurales en el forraje de la gramínea, donde a mayor edad del cultivo se incrementó el proceso de lignificación. Sin embargo, durante la etapa de floración la enzima peroxidasa (relacionada a la etapa de polimerización), incrementó su actividad en el proceso de biosíntesis de ligninas de la pared celular (Sharma et al., 2014), de tal forma que, es posible que exista una relación en la edad y en el periodo durante el desarrollo y su relación con la nutrición vegetal de especies forrajeras en este SSP.

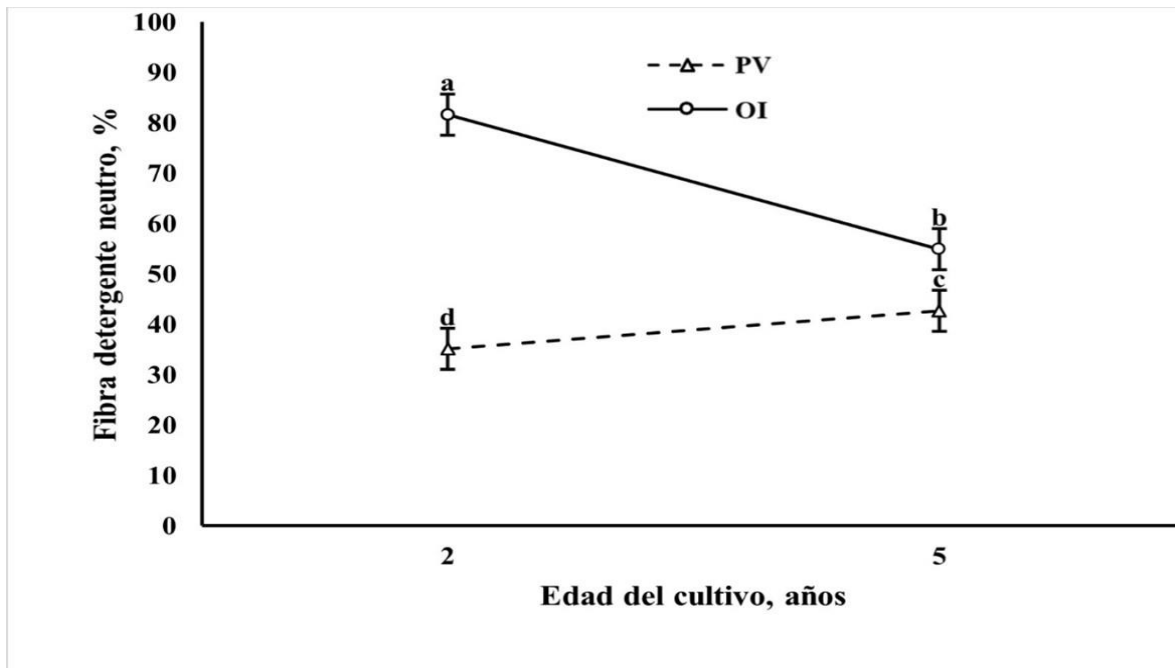


Figura 18. Efecto de la interacción Edad x Periodo sobre la Fibra detergente neutro global (%) en sistema silvopastoril. <sup>a,b,c,d</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).



#### 6.2.4. Efecto de la Fibra Detergente Ácida en un sistema Silvopastoril

El consorcio de CFN no afectó ( $P>0.05$ ) a la FDA; el promedio de la FDA de este SSP fue de 50%; siendo numéricamente superiores ( $P>0.05$ ) en los estratos de dos años con un contenido 35% superior a los de cinco años, presentando valores máximos y mínimos de 57 y 43%; éste mismo comportamiento sucedió para el Periodo ( $P>0.05$ ) y la pendiente, presentando valores de 53 a 47% (Tabla 6); niveles altos de FDN y FDA representan un aumento en los costos de alimentación, como la fibra celulósica vegetal y los concentrados (Evan y Marcos, 2020), disminuyendo el desempeño nutritivo de los rumiantes; el incremento de los valores de FDA se debe a factores expuestos como en el caso de FDN; al valor nutritivo y rendimiento que ofrezca el forraje seleccionado, el cual estará en función de la distribución anual de las lluvias, así como en el manejo del SSP, todas estas variables resultan cruciales para la obtención de valores nutrimentales (Roca et al., 2020); los valores altos registrados sugieren un comportamiento de donde la proteína es más insoluble por su mayor contenido de compuestos lignocelulósicos (Sosa et al., 2021), el cual tiende a crecer en función de la edad y del corte del forraje, a medida que la madurez de la planta aumenta, la pared celular se engrosa, la cual activará cambios anatómicos y funcionales internamente (Sánchez et al., 2007); ésta serie de procesos tiende a ser más notoria en tejidos estructurales como el xilema y la esclerénquima, encontrados en los tallos y hojas de las gramíneas, es por ello que el contenido de lignina es más alto en forrajes tropicales con metabolismo  $C_4$  en comparación con forrajes tropicales de zonas altas  $C_3$ , ésta fue posiblemente una de las razones por las cuales el consorcio de CFN realizó un proceso más lento, debido al aumento en los niveles FDN y FDA durante el periodo OI, ya que el proceso de lignificación dificultó el transporte de nutrientes y aminoácidos, a través de un flujo más lento, lo que retardó el proceso de fijación de nitrógeno y por ende la obtención de proteínas en la hoja; de tal modo, se sugieren adecuaciones en los métodos de fertilización, cambiando de aplicación en tallo a foliar, si lo que se desea es una obtención proteica solo en la hoja del forraje.

**Tabla 6. Medias y significancias de variables bromatológicas evaluadas en un sistema silvopastoril, en tiempo inicial y final del experimento<sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas (P > 0.05; Tukey).**

Factor	Variables			
	EE	PC	FDN	FDA
Consortio (C)				
Sin	3.18 <sup>a</sup>	21.06 <sup>a</sup>	58.09 <sup>a</sup>	44.84 <sup>a</sup>
Con	4.14 <sup>a</sup>	18.94 <sup>a</sup>	49.13 <sup>a</sup>	55.18 <sup>a</sup>
EEM	0.63	4.66	4.11	5.65
Edad (E)				
2	3.96 <sup>a</sup>	14.86 <sup>b</sup>	58.39 <sup>a</sup>	57.37 <sup>a</sup>
5	3.26 <sup>a</sup>	25.14 <sup>a</sup>	48.83 <sup>a</sup>	42.64 <sup>a</sup>
EEM	0.63	4.66	4.11	5.65
Periodo (P)				
PV	6.05 <sup>a</sup>	22.91 <sup>a</sup>	38.93 <sup>b</sup>	44.60 <sup>a</sup>
OI	1.27 <sup>b</sup>	17.09 <sup>a</sup>	68.29 <sup>a</sup>	55.42 <sup>a</sup>
EEM	0.63	4.66	4.11	5.65
Bloque (B)				
Baja	4.30 <sup>a</sup>	18.70 <sup>a</sup>	50.34 <sup>a</sup>	47.30 <sup>a</sup>
Alta	3.02 <sup>a</sup>	21.30 <sup>a</sup>	56.88 <sup>a</sup>	52.71 <sup>a</sup>
EEM	0.63	4.66	4.11	5.65
Significancias				
C	0.3200	0.4600	0.1700	0.2430
E	0.5300	0.0087	0.1500	0.1150
P	0.0017	0.0739	0.0023	0.2250
B	0.2000	0.3700	0.3000	0.5240
E*C	0.3200	0.9500	0.9600	0.9550
E*P	0.3800	0.2900	0.0300	0.6160
C*P	0.2000	0.4200	0.3400	0.4220
E*B	0.3200	0.6600	0.7900	0.5820
E*C*P	0.3100	0.9400	0.3900	0.1690

\*EE = Extracto etéreo, %; PC = Proteína cruda, %; FDN = Fibra detergente neutra, %; FDA = Fibra detergente ácida, %. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas (P > 0.05; Tukey)



## 6.3. Resultados de variables fisicoquímicas en suelo

### 6.3.1. Efecto del pH en el suelo de un sistema Silvopastoril

La aplicación del consorcio de CFN no mostró efectos ( $P > 0.05$ ) sobre esta variable, a pesar de que se encontraron diferencias numéricas, el pH del suelo tuvo un comportamiento ligeramente ácido según los criterios de (Reyes, 1996) y de la NOM-021-RECNAT-2000, éstos valores son normales para el SSP ya que *L. leucocephala* tiene adaptabilidad a suelos con pH moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos, incluso suelos poco fértiles con disponibilidad limitada de agua (IICA, 2023).

Respecto a la pendiente como criterio de bloqueo tampoco hubo significancia ( $P > 0.5869$ ), los valores de pH en conjunto tuvieron un promedio de 6.35, esta igualdad de concentración entre parcelas con diferente grado de pendiente pudo haber sido justificada por el sistema de cercos vivos que posee el SSP, una técnica muy común en los potreros del trópico que permite disminuir la erosión del suelo (Palma et al., 2008).

Para los factores Edad, Periodo, Tiempo de muestreo y la interacción de Edad\* Periodo si se presentaron efectos ( $P < 0.0001$ ) sobre el pH; la concentración de las plantaciones de dos años fue moderadamente ácido en comparación con la plantación de cinco años que tuvo un pH neutro, con respecto a la NOM-021-RECNAT-2000. Xu et al., (2020) refieren que plantas expuestas a un pH alto en la zona de la raíz, retrasan el crecimiento de las células a nivel rizosfera, así como el transporte de agua, lo que contribuye a la reducción en el desarrollo y crecimiento de las plantas.

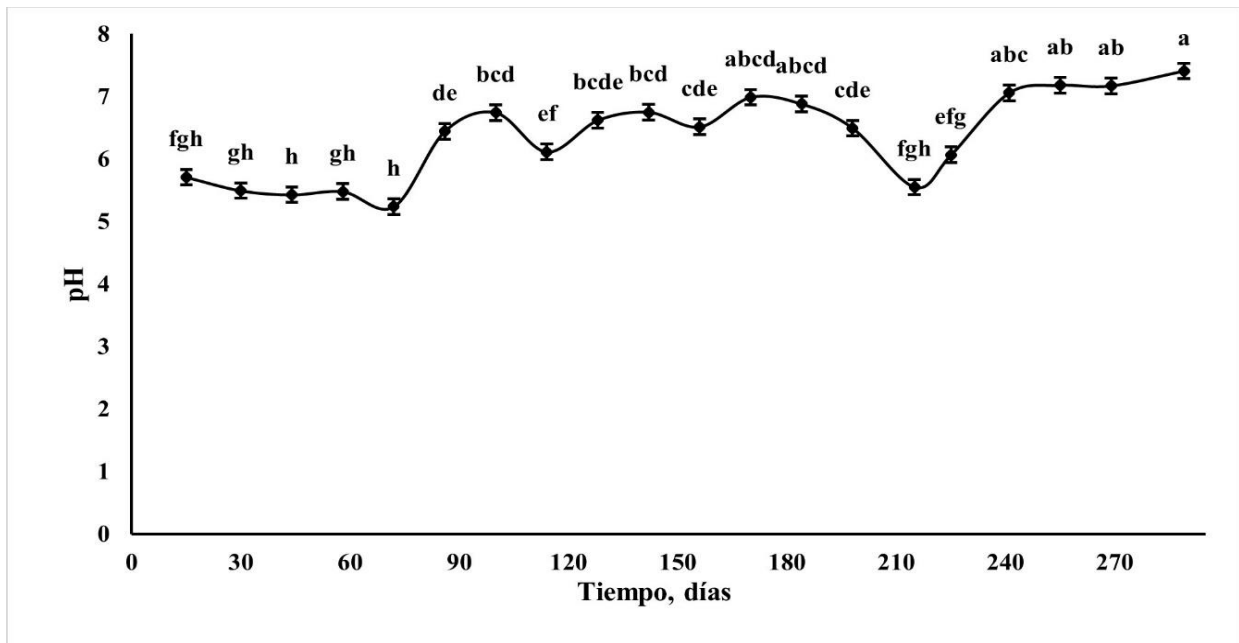


Figura 19. Efecto del tiempo de muestreo en el pH global en suelo de un sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

Los valores de pH del periodo OI mostraron una diferencia mayor en comparación con PV, lo mismo sucedió con la edad del suelo de las plantaciones de cinco años sobre las de dos, presentando valores máximos y mínimos de 6.72 y 6.12 para el primer factor y de 6.72 sobre 6.0 para el segundo; éstos resultados coinciden a los reportados por (Rivera et al., 2023) en donde evaluaron el pH de dos SSP: el primero con el estrato arbóreo *E. tereticornis* (Eucalipto) asociado con *L. leucocephala* y pasto *M. maximus* cv. Tanzania, seguido de un SSPAD (Sistema Silvopastoril con Árboles Dispersos) donde predominaron árboles nativos como *A. niopoides* y *G. ulmifolia*, con concentraciones finales de 6.8 y 6.7, respectivamente. Para establecer la dinámica del pH con el Tiempo de muestreo, se puede indicar que se presentaron valores mínimos y máximos en conjunto (Fig. 19), a partir del día 15 se registraron valores que fueron de 5.24 hasta 7.41, en un lapso total de 289 días; por lo tanto, el comportamiento de esta variable tuvo un rango de clasificación de fuertemente ácido a medianamente alcalino, con esta información se puede estimar que a partir del día 128 (sequías) al 184 (lluvias), el suelo del SSP



alcanzó un pH que fue de moderadamente ácido a neutro, información que servirá al productor para establecer futuras tomas de decisiones respecto a la siembra, cosecha o rotación en el manejo del sistema.

### 6.3.3. Efecto del Nitrato en el suelo de un sistema Silvopastoril

Como puede observarse en la Tabla 7, el tratamiento de cianobacterias, la Edad y la Pendiente del terreno no intervinieron ( $P > 0.05$ ) en la relación del nitrato del suelo con el SSP. En tanto, el Factor Periodo sí influyó ( $P < 0.0001$ ) sobre la concentración del ion nitrato ( $\text{NO}_3$ ), ocurriendo que el estrato de suelo del SSP durante PV obtuvo una acumulación 1.4 veces más ( $P < 0.0001$ ) que la capacidad de fijación en comparación con OI. El Tiempo de muestreo también afectó ( $P < 0.0001$ ) a esta variable, obteniendo concentraciones máximas y mínimas de  $0.041$  y  $0.011 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de nitrato (Figura 20).

Es importante señalar que, las concentraciones de este ion en suelo mostraron un comportamiento estable del día 128 hasta el 184 para después volver a incrementarse sustancialmente durante el periodo OI con un valor de  $0.039 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ; sin embargo, estos valores son inferiores a los rangos establecidos por la NOM-021-RECNAT-2000 ( $0 - 10 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ), la cual los sitúa como concentraciones muy bajas en nitratos.

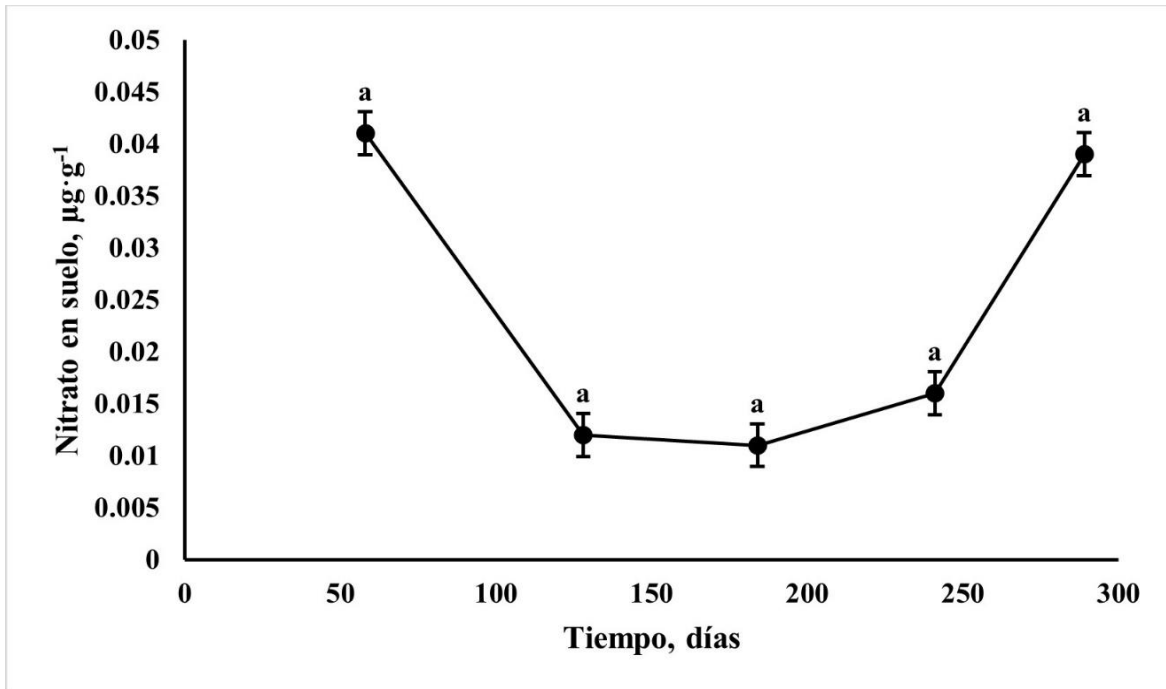


Figura 20. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de nitrato global en suelo de un sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

El comportamiento que tuvieron los nitratos en el suelo a inicio y final del estudio (días 56 y 289) se debieron al proceso de mineralización del nitrógeno; (Torres et al., 2021) presentaron similitudes en semanas similares, sin embargo, las concentraciones obtenidas fueron mayores a las de este estudio, por lo cual el nitrógeno en forma de nitrato se encontró disponible principalmente en las primeras semanas, su disminución se relacionó con el incremento durante el proceso de amonificación.





**Tabla 7. Resultados de significancias de variables fisicoquímicas del suelo, evaluadas durante cada pastoreo.**

Factor	Variables			
	pH	EMM	Nitrato	EMM
Consortio (C)				
Sin	6.40 <sup>a</sup>	0.13	0.018 <sup>a</sup>	0.0007
Con	6.32 <sup>a</sup>		0.018 <sup>a</sup>	
Edad (E)				
2	6.00 <sup>b</sup>	0.13	0.019 <sup>a</sup>	0.0007
5	6.72 <sup>a</sup>		0.018 <sup>a</sup>	
Periodo (P)				
PV	6.12 <sup>b</sup>	0.13	0.024 <sup>a</sup>	0.0007
OI	6.72 <sup>b</sup>		0.010 <sup>a</sup>	
Bloque (B)				
Alta	6.34 <sup>a</sup>	0.13	0.018 <sup>a</sup>	0.0007
Baja	6.37 <sup>a</sup>		0.018 <sup>a</sup>	
Significancias				
E	<0.0001		0.6300	
C	0.1755		0.9600	
P	<0.0001		<0.0001	
B	0.5868		0.7500	
Tiempo	<0.0001		<0.0001	
E*C	0.7248		0.8800	
E*P	<0.0001		<0.0001	
C*P	0.4534		0.7100	
E*B	0.9786		0.4000	
E*C*P	0.7315		0.2300	

\*pH = Potencial de Hidrógeno

<sup>a, b</sup> Medias con la misma literal en columnas no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

La retención de nitrato en el suelo se debe al ahorro de energía que regula la planta para asimilar nitrógeno; cuando el amonio ha sido absorbido por *L. leucocephala*, este es integrado directamente al ciclo de la enzima glutamina sintetasa/glutamato sintasa (GS-GOGAT) encargada del metabolismo del nitrógeno mientras que el Óxido de Nitrógeno (NO) es reducido a amonio a través de la flavoproteína nitrato





reductasa (NR) y la enzima nitrito reductasa (NiR), las cuales generarán las condiciones para la asimilación del nitrógeno en la planta a través de la oxidación del hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (Barneix., 2007; Kant et al., 2007; Ramírez et al., 2019).

#### 6.3.4. Efecto del Fósforo asimilable en el suelo de un sistema Silvopastoril

Los resultados evaluados para contenido de P asimilable en suelo no mostraron diferencias ( $P>0.05$ ) con la aplicación del tratamiento del consorcio de CFN, el Bloque, Periodo y Edad. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron menores a las concentraciones que evidenciaron (Romero et al., 2020) al evaluar características del suelo en SSP, en el caso del P del factor de 2 años se comparó con el factor bajo la copa de árbol Joven (4.68 vs 6.35 ppm) y para el estrato de cinco años fue contra la copa del árbol mediano (2.32 vs 9.4 ppm), este comportamiento puede atribuirse a la edad de la especie utilizada, así como al desarrollo de la raíz, ya que a mayor crecimiento esta tiende a extraer minerales de capas más profundas del suelo (efecto de bombeo de nutrientes). Por su parte (Céspedes et al., 2021), estudiaron si el cambio del uso de suelo afectó el stock de elementos como el fósforo, los resultados de esta investigación fueron contrastados con un SSP asociado a *M. maximus* bajo rangos similares de profundidad para el muestreo (0 – 0.5 m); se evidenció una mayor concentración de P en conjunto en esta investigación en comparación a la evaluada por estos autores, la cual resultó ser menor a  $3.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .



**Tabla 8. Resultados de significancias de Fósforo asimilable en suelo en un sistema silvopastoril evaluadas en tiempo inicial y final del experimento.**

Factor	Fósforo asimilable	EEM
Consortio (C)	Sin	3.88 <sup>a</sup>
	Con	3.12 <sup>a</sup>
Edad (E)	2	4.68 <sup>a</sup>
	5	2.32 <sup>a</sup>
Periodo (P)	PV	3.84 <sup>a</sup>
	OI	3.16 <sup>a</sup>
Bloque (B)	Alta	4.00 <sup>a</sup>
	Baja	3.01 <sup>a</sup>
Significancias	C	0.6240
	E	0.1600
	P	0.6600
	B	0.5300
	E*C	0.7250
	E*P	0.1100
	C*P	0.8000
	E*B	0.9100
	E*C*P	0.3000

a, b Medias con la misma literal en columnas no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

De acuerdo a la Figura 21, el fósforo obtenido en los suelos de 2 y 5 años de edad, se situó con una concentración baja, presentando valores máximos y mínimos de 4.7 y 2.3  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  que, en términos generales según los criterios de la NOM-021-RECNAT-2000, la dinámica del fósforo fue de asimilación baja; dicha asimilación de P, se relaciona con el alto consumo que realizó *L. leucocephala* y la absorción superficial por parte de partículas coloidales presentes en el suelo: Óxidos e Hidróxidos de Hierro, Aluminio y Manganeso, así como M.O. ; éste comportamiento fue derivado de los grandes requerimientos de P por parte de la planta, el cual se relaciona en función del pH, ya que, mientras exista un rango de 6.0~7.0 existirá un



buen aprovechamiento vegetal. En el caso del tratamiento, se observaron numéricamente niveles más bajos en comparación con el suelo testigo; esto puede relacionarse a que durante el proceso de FBN, el consorcio de CFN estuvo expuesto a estrés biótico y abiótico, manteniendo la actividad metabólica al mínimo durante periodos más largos Alonso et al., (2021)

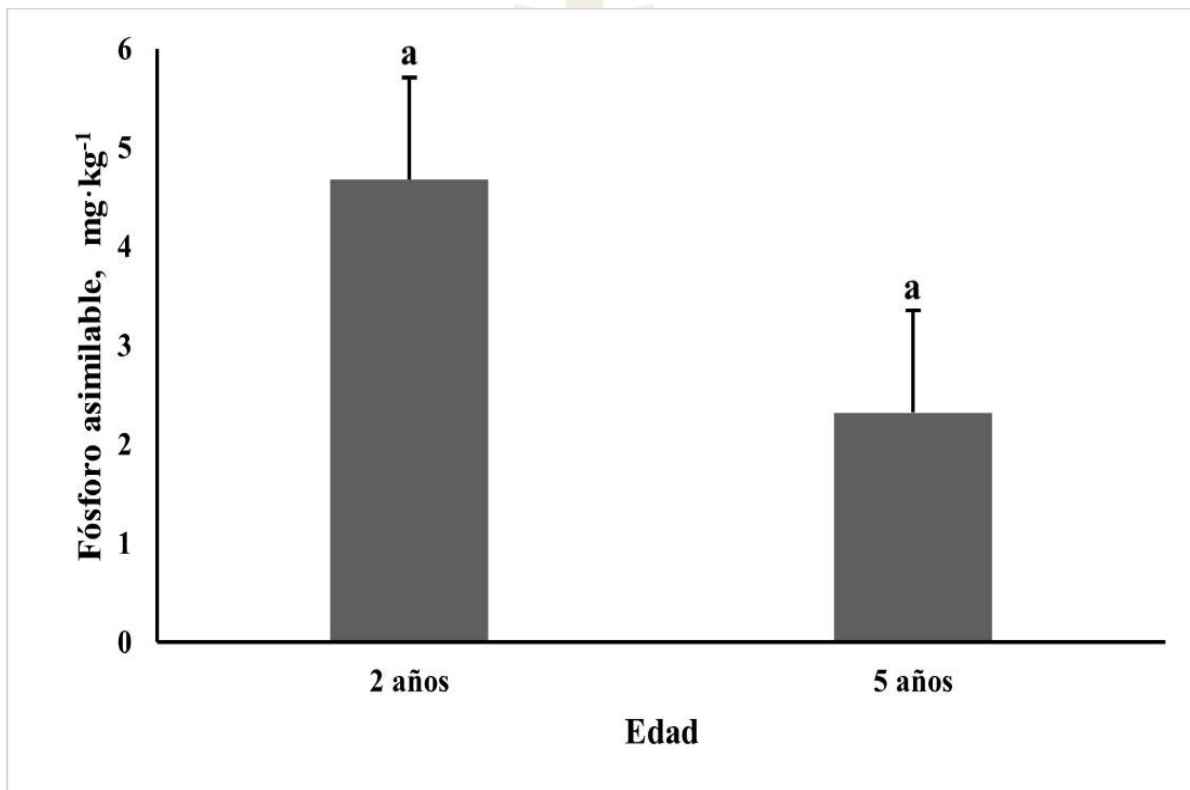


Figura 21. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de fósforo asimilable global en suelo de un sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

### 9.3.5. Efecto de la Capacidad de Intercambio Catiónico en el suelo de un sistema Silvopastoril

El consorcio cianobacteriano no afectó ( $P > 0.05$ ) sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico; los suelos registraron valores de 57.8 a 58.2  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$  respectivamente; en tanto, el factor Edad influyó ( $P = 0.0016$ ) en esta misma variable; los estratos de 2 años de edad tuvieron una concentración de CIC 67% superior a la obtenida para



el cultivo de 5 años; los valores obtenidos fueron comparados con los criterios de la NOM-021-RECNAT-2000, los cuales indicaron que la concentración del suelo del SSP resultó en *Muy alta* al obtener concentraciones  $> 40 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ . Sin embargo, el factor Periodo no afectó ( $P > 0.05$ ) sobre la C.I.C.; como puede observarse en la Tabla 9, registrando  $58 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$  durante PV y una ligera disminución en OI con  $57 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ .

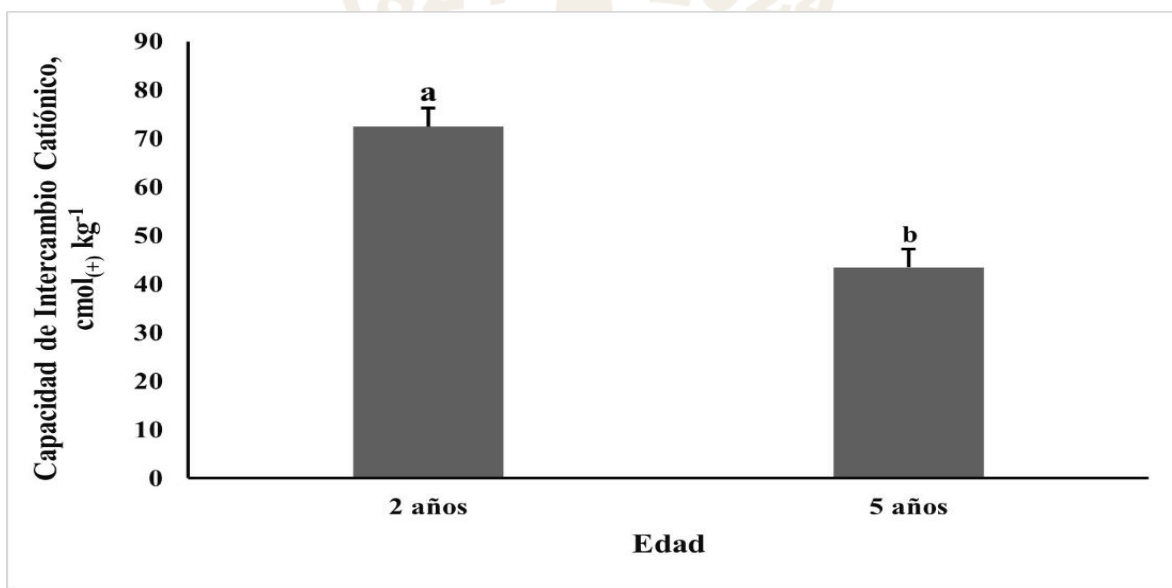
**Tabla 9. Resultados de significancias de variables fisicoquímicas del suelo de un sistema silvopastoril, en tiempo inicial y final del experimento. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

Factor	Variables					
	C.I.C.	EEM	K	EMM	M.O.	EMM
Consortio (C)						
Sin	57.78 <sup>a</sup>	3.76	725.00 <sup>a</sup>	42.72	6.15 <sup>a</sup>	0.26
Con	58.16 <sup>a</sup>		785.00 <sup>a</sup>		6.07 <sup>a</sup>	
Edad (E)						
2	72.46 <sup>a</sup>	3.76	677.00 <sup>b</sup>	42.72	5.71 <sup>b</sup>	0.26
5	43.48 <sup>b</sup>		833.25 <sup>a</sup>		6.51 <sup>a</sup>	
Periodo (P)						
PV	58.10 <sup>a</sup>	3.76	687.00 <sup>a</sup>	42.72	5.70 <sup>a</sup>	0.26
OI	56.84 <sup>b</sup>		823.00 <sup>a</sup>		6.52 <sup>a</sup>	
Bloque (B)						
Baja	56.44 <sup>a</sup>	3.76	789.00 <sup>a</sup>	42.72	6.44 <sup>a</sup>	0.26
Alta	59.50 <sup>a</sup>		721.00 <sup>a</sup>		5.78 <sup>a</sup>	
Significancias						
C	0.9442		0.3600		0.3572	
E	0.0016		0.0410		0.0410	
P	0.6900		0.0660		0.0657	
B	0.5900		0.3020		0.3018	
E*C	0.2900		0.2400		0.2402	
E*P	0.8300		0.1220		0.1220	
C*P	0.9049		0.4800		0.4800	
E*B	0.3400		0.3600		0.3650	
E*C*P	0.8400		0.8700		0.8650	

\*C.I.C. = Capacidad de intercambio catiónico,  $\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ; K = Potasio intercambiable,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; M.O. = Materia orgánica, %.



A pesar de esta reducción en la composición del suelo durante 233 días de estudio (Figura 22), el comportamiento de esta variable con arreglos silvopastoriles resultó similar bajo diferentes arreglos. (Contreras, et al., 2021) establecieron diferentes modelos de SSP: el primero asociando *L. leucocephala* con *Crescentia cujete* y el segundo con árboles de *G. ulmifolia*, *Cassia grandis* y *Albizia saman*; en ambos casos el SSP del presente experimento fue superior, ya que en conjunto se obtuvieron promedios de  $57.1 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ , en comparación a los informados por los autores antes mencionados:  $31.5 \text{ vs. } 34.9 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$  para cada sistema evaluado.



**Figura 22. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de la Capacidad de Intercambio Catiónico global en suelo de un sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

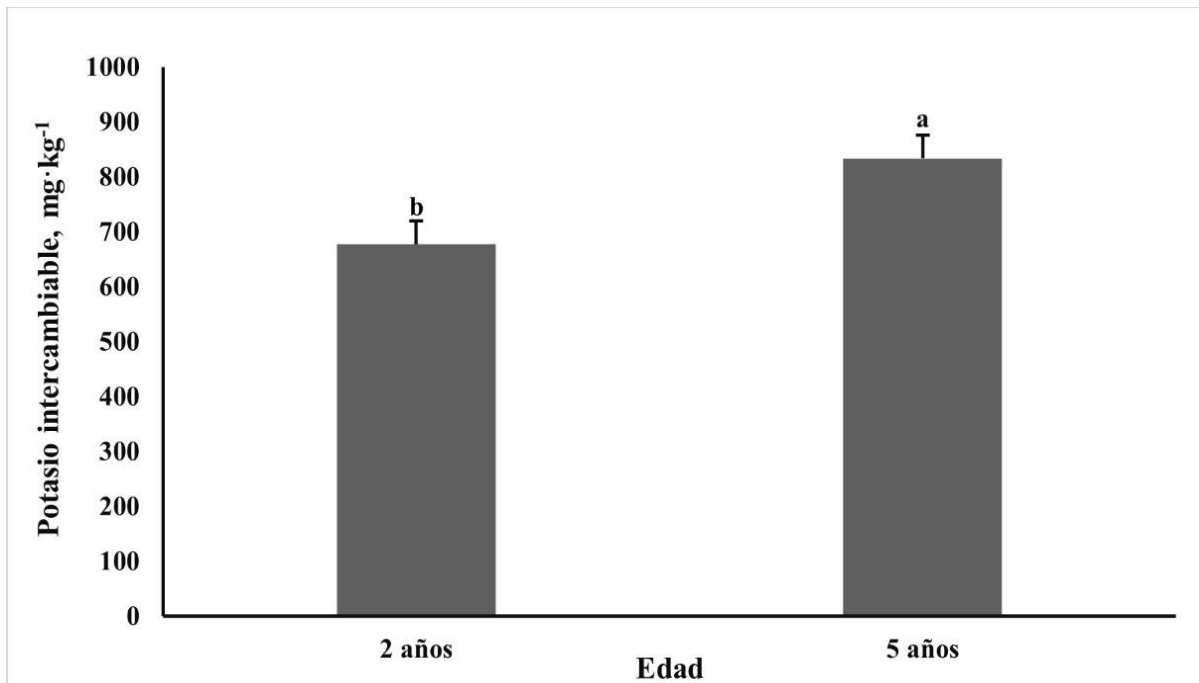
La diferencia en el valor de esta variable se puede deber a la distancia entre el estrato arbóreo y el herbáceo del SSP, ya que pueden ser relacionados a una alta concentración de nutrientes disponibles, generado por la acumulación de material orgánico como la caída de hojarasca, ramas, troncos y residuos orgánicos, mejorando así las características fisicoquímicas del suelo; la acción del consorcio de CFN en esta variable se puede relacionar a la reducción en las variaciones del P, lo cual propició una buena retención e intercambio de iones como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,



Na<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> quienes están a disposición de las necesidades del suelo y a los requerimientos fisiológicos que tenga la planta (Ramírez et al., 2019); además, con la aplicación del consorcio en periodos más cortos se podrán mejorar y aumentar las condiciones de fertilidad en el sustrato del suelo (Murialdo et al., 2022), ya que la liberación de enzimas activan reacciones de hidrólisis enzimáticas catalíticas reversibles, capaces de hidratar y restauran al suelo (López et al., 2020).

### 6.3.6. Efecto del Potasio intercambiable en el suelo de un sistema Silvopastoril

La aplicación del tratamiento de CFN no mostró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) sobre el K intercambiable, contrariamente, el factor Edad tuvo efecto ( $P = 0.0410$ ) sobre esta variable, los suelos de las parcelas de 5 años de edad tuvieron una diferencia de concentración del 23% en comparación a las de 2 años, obteniendo cantidades máximas y mínimas de 833 y 677 mg·kg<sup>-1</sup>; como puede observarse en la tabla 9, el factor Periodo tuvo una tendencia ( $P = 0.0660$ ) sobre esta variable; ya que durante OI existió una superioridad del 20% en la concentración comparada con PV; en términos generales, el K intercambiable en el suelo de este sistema tuvo una concentración promedio de 755 mg·kg<sup>-1</sup> durante los 289 días de estudio. Contrariamente, el factor Bloque no afectó ( $P > 0.05$ ) la concentración de potasio en el suelo. El nivel obtenido en este experimento fue mayor al reportado por (Ocampo et al., 2023), quienes evaluaron un SSP multi estrato compuesto por *M. maximus* cv. Mombasa y *Dichantium. aristatum* más *Crescentia cujete* con *L. leucocephala* asociado con árboles de *G. ulmifolia*, *Cassia grandis* y *Albizia sama*, reportando valores de 1.32 cmol·kg<sup>-1</sup> mientras que los obtenidos en la presente investigación se mantuvieron en 2.1 cmol·kg<sup>-1</sup>; para ambos casos, el comportamiento del potasio intercambiable fue similar bajo diferentes arreglos de SSP, ya que, según refieren (Bordron et al., 2019), los estratos arbóreo y herbáceo realizan la absorción de nutrientes desde el subsuelo hasta su dosel, obteniendo fertilizantes, a través de la caída de hojarasca, ramas y flores.



**Figura 23. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración del Potasio intercambiable global en suelo de un sistema silvopastoril <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

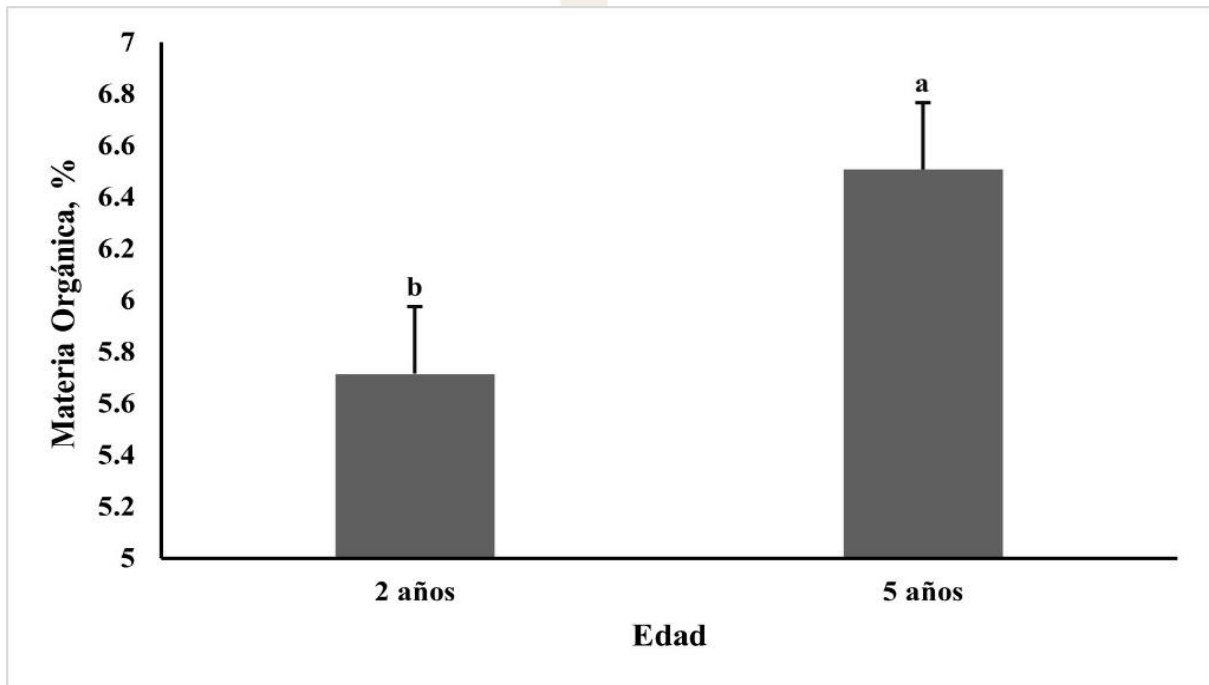
El promedio de la concentración de K intercambiable obtenida en esta investigación fue catalogada como de clase alta, según los criterios de la NOM-021-RECNAT-2000, al haberse obtenido valores superiores a  $0.6 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ , por tanto, la cuantificación de esta variable es crucial para sistemas pecuarios en el trópico, ya que su caracterización funciona como indicador en procesos bioquímicos en las plantas, regulando la transpiración de las mismas generando resiliencia en las sequías; con la aplicación del consorcio de cianobacterias se estimulará el proceso fotosintético el cual induce la generación de carbohidratos y su gradiente hacia los órganos para la reserva celular (Reyes et al., 1996; Ramírez et al., 2019)

### 6.3.7. Efecto de la Capacidad de Materia Orgánica en el suelo de sistema Silvopastoril

Los resultados evaluados para la M.O. no mostraron diferencias ( $P > 0.05$ ) con la aplicación del consorcio de CFN ni para el bloque, en contraste el factor Edad si fue afectado ( $P = 0.0410$ ) por esta variable; el suelo correspondiente a los 5 años de



edad concentró 14% más presencia de materia orgánica que en los sustratos de 2 años; las edades presentaron valores máximos y mínimos de 6.5 y 5.7%; obteniéndose en conjunto un valor de 6.1% (Figura 25), lo cual según los criterios de la NOM-021-RECNAT-2000, indica una concentración muy alta de este compuesto (> 6%).



**Figura 24. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de Materia Orgánica del suelo global en sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

Los valores obtenidos de M.O. pueden asociarse a una FBN alta ya que el incremento de la materia orgánica se relaciona directamente con el ciclo del nitrógeno y a su vez, con el proceso de mineralización, para luego convertirse en amonio que fue fijado por las CFN que aun quedaron vivas durante el proceso de vía libre. Las similitudes en el incremento de las concentraciones entre la M.O. y el amonio en OI, cerca del muestreo final (día 289) refuerzan esta teoría, sin embargo, el nivel de las concentraciones de ambas variables se hubiese podido mantener o acentuar más al haber realizado aplicaciones en periodos más cortos u optando por biofertilización vía Drench o foliar para reforzar la adsorción del consorcio. A pesar





de ello, los valores de M.O. aquí evaluados fueron superiores a los presentados por (Contreras, et al., 2021); en donde los arreglos correspondieron a tres SSP conformados por diferentes componentes arbóreos: *Tectona grandis* (SSP<sub>1</sub>), *Tabebuia rosea* (SSP<sub>2</sub>) y *Pachira quinata* (SSP<sub>3</sub>), el valor del SSP de esta investigación fue en conjunto de 6.11% siendo de mayor concentración a los sistemas antes mencionados: 4.3, 3.7, y 3.8%. Las altas tasas de materia orgánica ayudan a reducir los procesos degradativos del suelo generando las condiciones necesarias para que microorganismos metanotrófos y desnitrificantes sean capaces de capturar óxido nitroso y metano, favoreciendo la conformación estructural del suelo, infiltración del agua y una mejor aireación (Contreras et al., 2021), lo cual favorece al SSP evaluado.

### 6.3.8. Efecto de la Nitrógeno amoniacal en el suelo de sistema Silvopastoril

El consorcio de CFN no afectó ( $P > 0.05$ ) sobre el Nitrógeno amoniacal del suelo, aunque la FBN por parte del tratamiento de cianobacterias fue numéricamente superior hasta en un 5% en comparación con el suelo de las parcelas testigo (Tabla 10). La Edad en los sustratos tampoco fue afectada ( $P > 0.05$ ), los suelos de dos años de edad tuvieron numéricamente hasta 9% mayor concentración de nitrógeno que los de cinco años, esta tendencia demuestra que los requerimientos fisiológicos de *L. leucocephala* en un arreglo silvopastoril son mayores durante su crecimiento y disminuyen conforme se desarrollan, ya que sus necesidades pueden ser solventadas a través de la M.O. generada por sus propios recursos orgánicos, tales como: ramas, hojarasca y leña. La pendiente del suelo no mostró efecto ( $P > 0.05$ ) sobre el nitrógeno amoniacal, aunque se esperaba lo contrario debido a la escorrentía natural ocasionada durante los periodos de lluvias, este tipo de fenómenos, principalmente inducidos por acción del agua o viento, generan desgastes y pérdidas en las primeras capas del suelo, sin embargo, estudios elaborados por (Giraldo y Chará, 2022), demostraron que los SSP tienen una tendencia a presentar menor lámina de escorrentía, principalmente al integrar



especies como *L. leucocephala* y *T. diversifolia* ya que pueden retener hasta un 35% más de suelo que en las practicas ganaderas convencionales. La concentración de nitrógeno amoniacal total que estuvo presente en el suelo del SSP durante los 289 días de experimentación fue de  $24.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , según los criterios de la NOM-021-RECNAT-2000 este valor corresponde a una cantidad media de nitrógeno inorgánico.

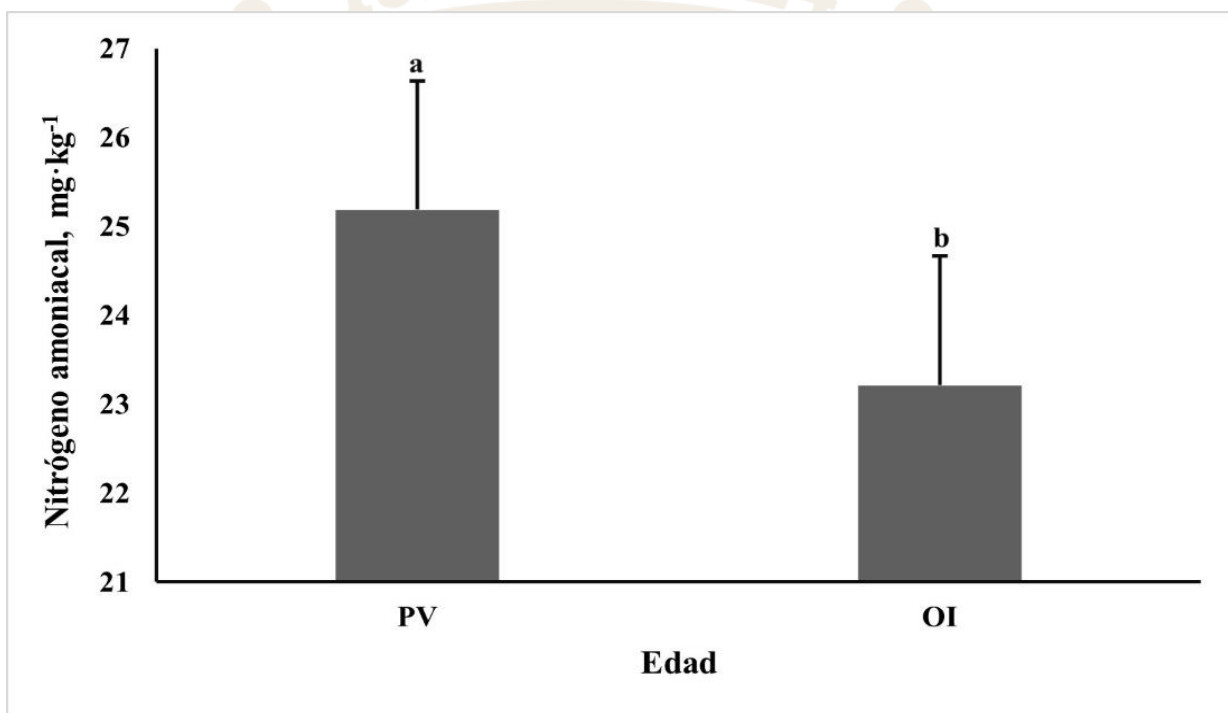
**Tabla 10. Resultados de significancias de Nitrógeno amoniacal, evaluadas en suelo de un sistema silvopastoril, en tiempo inicial y final del experimento.** <sup>a, b</sup> **Medias con la misma literal en columnas no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

Factor		Nitrógeno amoniacal	EEM
Consortio (C)	Sin	23.66 <sup>a</sup>	1.36
	Con	24.74 <sup>a</sup>	
Edad (E)	2	25.19 <sup>a</sup>	1.36
	5	23.21 <sup>a</sup>	
Periodo (P)	PV	28.24 <sup>a</sup>	1.36
	OI	20.16 <sup>b</sup>	
Bloque (B)	Alta	23.0 <sup>a</sup>	1.36
	Baja	25.4 <sup>a</sup>	
Significancias	C	0.6200	
	E	0.3730	
	P	0.0077	
	B	0.2900	
	E*C	0.6100	
	E*P	0.7622	
	C*P	0.6100	
	E*B	0.9200	
E*C*P	0.9200		

Por su parte, el Periodo si afectó al nitrógeno amoniacal ( $P=0.0077$ ), ya que durante PV se obtuvo una concentración del 40% mayor que en OI, presentando valores máximos y mínimos de 28 y  $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Figura 25); la concentración de nitrógeno



asimilada por los suelos y plantas testigo, se dio a través de bacterias asociativas mejor conocidas como simbióticas, las cuales generaron una relación recíproca en función de las condiciones que ofreció la planta (Blanco et al., 2023), la cepa más conocida que realiza simbiosis con la leguminosa *L. leucocephala* son bacterias del género *Rizobium* (*R. japonicum*, *R. lupini*, *R. leguminosarum*, *R. meliloti*, *R. phaseoli* y *R. trifolii*.) mediante un proceso de nodulación en las raíces de las leguminosa, atravesando la corteza de la raíz para después diferenciarse en bacteroides, los cuales realizan la función de la actividad nitrogenasa y de ciertos citocromos que no están presentes en las bacterias de vida libre (Bianco, 2020)



**Figura 25. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de Nitrógeno amoniacaal global del suelo en sistema silvopastoral. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

Por su parte, el tratamiento utilizado en esta investigación que fueron las CFN, son consideradas microorganismos de vida libre ya que requieren de una fuente energética (química o lumínica) sin estar en relación directa con las plantas localizadas a nivel rizosfera (Smercina et al., 2022). La FBN es realizada por el complejo enzimático de la nitrogenasa, presente en los microorganismos fijadores





de nitrógeno (en este caso los géneros *Fischerella* y *Anabaena*) la cual realiza la transformación de nitrógeno atmosférico a amonio, una vez que el sistema enzimático de la nitrogenasa se interna bajo concentraciones escasas de nitrógeno combinado como nitrato y amonio (Alonso et al., 2021), al ser exclusiva de los microorganismos procariotas, los eucariotas (plantas) logran enriquecerse de la fijación de nitrógeno únicamente interactuando con especies fijadoras de nitrógeno u obteniendo el nitrógeno fijado después de la apoptosis celular (Ramírez et al., 2019) ya que el rendimiento de nitrógeno puede disminuir por la presencia de oxígeno, este es conservado en bajas concentraciones con el fin de mantener en funcionamiento la enzima nitrogenasa.

El comportamiento de disminución en la cantidad de nitrógeno mostrado en la Figura 20, pudo haber ocurrido como consecuencia a las pérdidas por volatilización del amonio en forma de amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), un proceso natural durante el ciclo del nitrógeno, así mismo, el consumo de amonio por parte de los estratos del SSP y por el proceso de nitrificación el cual coincide con el aumento del nitrato y la disminución de amonio al final de las observaciones.

A pesar de que se han realizado diversos estudios sobre el uso de CFN enfocadas al ámbito agropecuario bajo condiciones controladas, esta investigación fue aplicada directamente en campo, expuesta a variables externas que no son posibles manejar y controlar en su totalidad, principalmente factores abióticos como humedad, velocidad del viento, radiación y temperatura, lo anterior, expone la dificultad para que la dosis del consorcio de CFN haya llegado en su totalidad a la rizosfera para iniciar la fijación de nitrógeno. Es importante resaltar a las cianobacterias como microorganismos de vía libre y al no tener la necesidad de generar simbiosis para la obtención de energía, no existió competencia selectiva con las bacterias nitrificantes. La fase experimental de esta investigación evaluó ambos procesos (Figura 26), bajo las mismas condiciones ambientales y bajo igualdad de factores, las concentraciones finales de nitrógeno amoniacal sugieren



**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

**VERACRUZ**  
ME LLENA DE ORGULLO



101

la utilización de CFN como alternativa biotecnológica para la producción de biofertilizantes enfocados a sistemas pecuarios tropicales dinamizando el ciclo del nitrógeno y logrando la salud del ecosistema.



2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101  
[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN





### 6.3.9. Efecto de la Conductividad Eléctrica en suelo de un sistema Silvopastoril

La aplicación del consorcio cianobacteriano no afectó ( $P > 0.05$ ) sobre la Conductividad Eléctrica del suelo, así como tampoco hubo efectos ( $P > 0.05$ ) que demostraran lo contrario en los Bloques de alta y baja pendiente (Tabla 11); esto evidencia que la composición de los cuerpos de agua de la zona es de buena calidad y bajas en sales e iones que ayudan al crecimiento de la planta, a su vez, una baja salinidad evitará daños a largo plazo como la salinización, deficiencia en los rendimientos de los cultivos o la nula germinación de las plántulas (Akça et al., 2020).

**Tabla 11. Resultados de significancias de la Conductividad Eléctrica evaluadas en suelo de un sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal en columnas no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).**

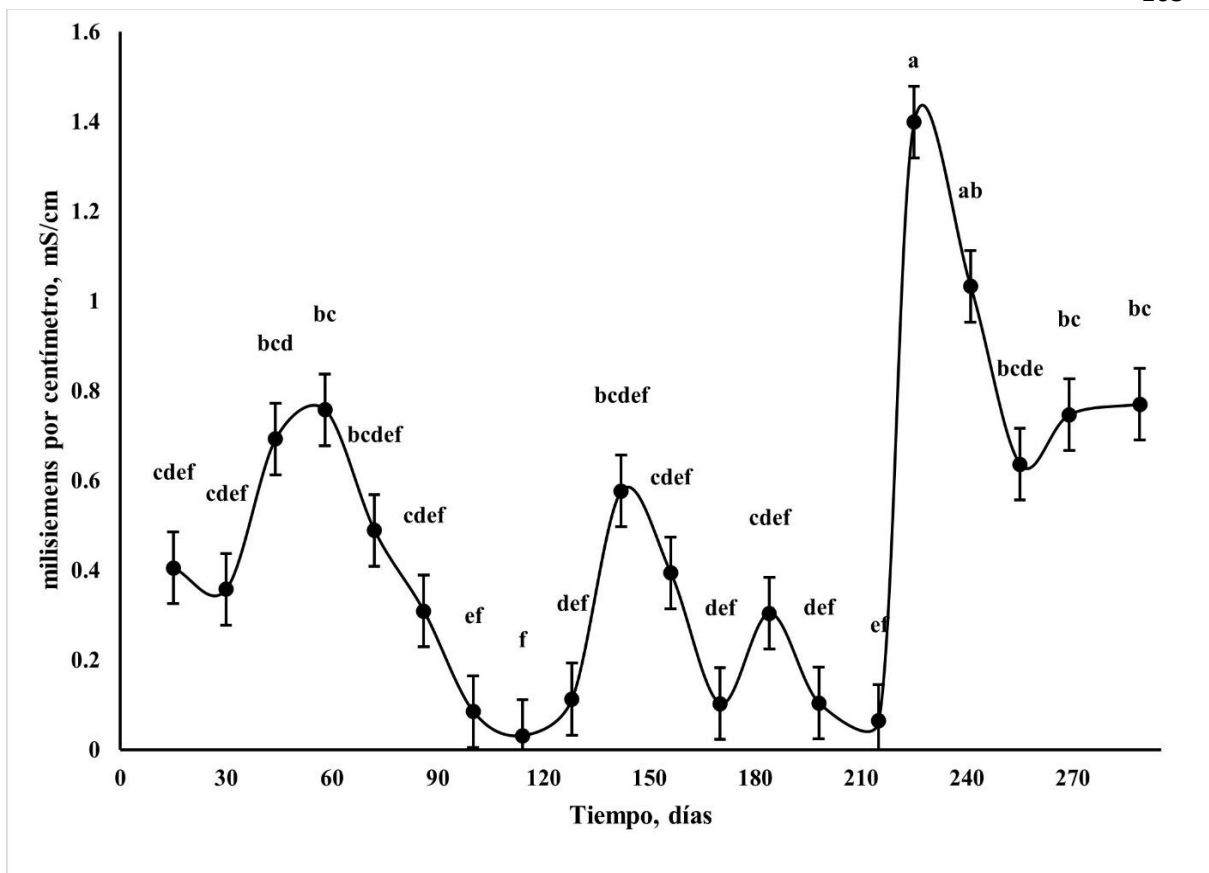
Factor		C.E.	EEM
Consortio (C)	Sin	0.46 <sup>a</sup>	0.36
	Con	0.48 <sup>a</sup>	
Edad (E)	2	0.50 <sup>a</sup>	0.36
	5	0.44 <sup>b</sup>	
Periodo (P)	PV	0.36 <sup>b</sup>	0.36
	OI	0.63 <sup>a</sup>	
Bloque (B)	Alta	0.49 <sup>a</sup>	0.36
	Baja	0.45 <sup>a</sup>	
Significancias	E	0.0952	
	C	0.6400	
	P	<0.0001	
	B	0.3500	
	Tiempo	<0.0001	
	E*C	0.5800	
	E*P	0.5700	
	C*P	0.7700	
E*B	0.8500		
E*C*P	0.1600		

\*C.E. = Conductividad eléctrica, mS/cm

<sup>a, b</sup> Medias con la misma literal en columnas no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey)



Los valores de esta investigación fueron superiores (0.47 vs 0.05 mS/cm) a los obtenidos por (Caamal et al., 2023), quienes midieron las propiedades fisicoquímicas del suelo bajo silvopastoreo, así mismo, los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango permisible de la NOM-021-RECNAT, por lo que no representan algún factor de riesgo para los cultivos, concentraciones similares a este arreglo silvopastoril fueron presentados por (Rivera et al., 2021), (0.47 vs 0.54~0.48 mS/cm) en la región piedemonte amazónico colombiano caracterizado por vegetación de bosque tropical lluvioso. La Edad del suelo no intervino ( $P>0.05$ ) en el desarrollo de esta variable; contrariamente, el Periodo y el Tiempo del muestreo si influyeron ( $P<0.05$ ) sobre la C.E, ya que durante el periodo OI la C.E. en el suelo fue superior hasta en un 75% más que en PV; la mayor concentración de salinidad se presentó en el lapso del día 225 al 289, con una concentración en conjunto de 0.92 mS/cm, mientras que durante el día 100 al 128 la dinámica de la conductividad del suelo tuvo una disminución, presentando valores de 0.076 mS/cm (Figura 27). La Edad del suelo no intervino ( $P>0.05$ ) en el desarrollo de esta variable; contrariamente, el Periodo y el Tiempo del muestreo si influyeron ( $P<0.05$ ) sobre la C.E., ya que durante el periodo OI la C.E. en el suelo fue superior hasta en un 75% más que en PV; la mayor concentración de salinidad se presentó en el lapso del día 225 al 289, con una concentración en conjunto de 0.92 mS/cm, mientras que durante el día 100 al 128 la dinámica de la conductividad del suelo tuvo una disminución, presentando valores de 0.076 mS/cm.



**Figura 27. Efecto del tiempo de muestreo en la concentración de la Conductividad Eléctrica global del suelo en un sistema silvopastoril. a, b,c,d,e,f Medias con la misma literal en columnas no son significativas ( $P>0.05$ ; Tukey).**

El comportamiento de bajas concentraciones de salinidad en este SSP puede ser a consecuencia del equilibrio en el microclima de los estratos, el cual genera una equilibrada tasa de evaporación sin que se añadan sales en exceso en la superficie; un buen drenaje en el suelo actúa positivamente reteniendo adecuadas cantidades de humedad para el funcionamiento del sistema, en el caso del consorcio de CFN, los bajos niveles de salinidad promueven el florecimiento de estos microorganismos, principalmente del género *Fisherella sp. FS18*, quienes se ven favorecidas a niveles menores a 40 mM (equivalente a 1600 mg·L<sup>-1</sup>) teniendo un límite de tolerancia hasta el 1% de NaCl (Cloruro de Sodio) (Rai., et al 2001; Soltani., et al 2007). Por último, la implementación de *L. leucocephala* como componente arbóreo en sistemas pecuarios tropicales contribuye a disminuir la salinidad y erosión del suelo, mejorar



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación

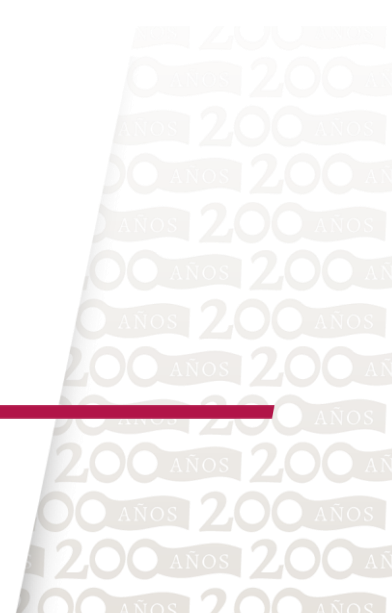


DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERACRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



la fertilidad del mismo y reducir los gases de efecto invernadero (Hernández, et al., 2023).





## 7. Conclusiones

La adaptabilidad de estos microorganismos en ecosistemas tropicales permitió generar información suficiente sobre la relación de *L. leucocephala* en un sistema silvopastoril bajo diferentes periodos estacionales y edades en el cultivo a pesar de no mejorar la productividad y la calidad forrajera del SSP. Las cianobacterias fijadoras de nitrógeno ofrecen diversos servicios a través de la actividad biológica que desarrollan, la biomasa de estos organismos desempeñó actividades en el mecanismo y rendimiento de los cultivos donde fue aplicada; a diferencia de otros microorganismos que necesitan realizar simbiosis para la liberación de nutrientes, las cianobacterias no requirieron un huésped para su crecimiento y desarrollo; la aplicación de bioestimulantes en el forraje y suelo de sistemas silvopastoriles permitió encaminar al productor a una ganadería más sostenible que permite ofrecer una alternativa en la disminución de los insumos externos como el uso de agroquímicos que degradan al medio ambiente así como la implementación de dietas que no cumplan con los suficientes requerimientos nutricionales para los animales. Por tanto, la relación entre el transporte de nutrientes y el proceso de lignificación amerita investigaciones futuras para mejorar condiciones nutricionales en la planta.

## 8. Recomendaciones

El realizar una investigación en campo abierto permite situar al objeto de estudio bajo condiciones cambiantes debido a las variables que no se pueden controlar; así que para obtener una visión más amplia sobre la actividad que pudiera desarrollar el consorcio de CFN con fines de rendimiento y aplicación en sistemas pecuarios se emiten las siguientes recomendaciones:

1. Realizar estudios sobre inoculación de semillas en las especies de interés con el consorcio para evaluar el crecimiento a nivel controlado, para relacionar el crecimiento directo de la planta con la FBN de las cianobacterias.
2. Llevar a cabo un análisis de fitohormonas del objeto de estudio para comprobar si existió estimulación por sustancias promotoras de crecimiento por parte del consorcio.

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024





3. Realizar aplicaciones foliares para estimar directamente el contenido nutrimental de la planta ya que así, su adsorción será más pronta que desde la raíz.
4. Disminuir los lapsos de aplicación del consorcio de cianobacterias ajustándose, si es el caso, a la rotación del ganado, o bien, si la aplicación será a un cultivo, consultar las necesidades nutrimentales.
5. Monitorear los suelos donde se realizó aplicación del consorcio de CFN, con la finalidad de identificar su presencia posterior a las aplicaciones realizadas.





## 9. Literatura citada

Akça, E., Mehmet, A., Selim, K., Takashi, K., Takanori, N., Tsugihito, W., Ahmet, Ç., & Kemal, Z. (2020). *Monitoreo a largo plazo de la salinidad del suelo en un ambiente semiárido de Turquía*. 193(104614).

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104614>

Alcarraz, M., González, E., & Heredia, V. (2020). *Azotobacter y Rhizobium como biofertilizantes naturales en semillas y plantas de frijol caupí*. 22(2).

Ali, S., Kornaros, M., Manni, A., Al-Tohamy, R., El Shanshoury, A.-R., Materia, M., Elsamahy, E., Sobhy, M., & Sun, J. (2021). Capítulo 28—Avances en biofertilizantes basados en microorganismos: Principales mecanismos y aplicaciones. En *Biofertilizers: Vol. Volumen 1: Avances en bioinoculantes* (pp. 371-385). Woodhead Publishing.

Alonso, E., Trujillo, M., Cervantes, P., & Ramírez, E. (2021). *Bioencapsulado de Fischerella sp.: Crecimiento, metabolismo y concentración del inóculo*. 24, 1-9. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.342>

Alvarez, A. L., Weyers, S. L., Goemann, H. M., Peyton, B. M., & Gardner, R. D. (2021). Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. *Algal Research*, 54, 102200. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102200>

Ammar, N., Jabnoun-Khiareddine, H., Mejdoub-Trabelsi, B., Nefzi, A., Mahjoub, M., & Daami-Remadi, M. (2017). *Pythium leak control in potato using aqueous*



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



110

*and organic extracts from the brown alga Sargassum vulgare (C. Agardh, 1820). 130, 81-93.*

Araiza, K., Murillo, M., Herrera, E., Valencia, R., Carrete, F., & Pámanes, G. (2020).

*Leucaena leucocephala y Opuntia ficus-indica reducen la producción de metano in vitro. 10, 1-13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2020.18>*

Argüello, J., Mahecha, L., & Angulo, J. (2019). *Arbustivas forrajeras: Importancia en las ganaderías de trópico bajo Colombiano. 30(3), 899-915.*

<https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35136>

Ashworth, D., Laughlin, A., & Boyer, M. (2018). *Using SketchUp to Simulate Tree Row Azimuth Effects on Alley Shading. (1)(110), 425-430.*

<https://doi.org/10.2134/agronj2017.04.0224>

Ayvar, S., Díaz, J., Vargas, M., Mena, A., Tejeda, M., & Cuevas, Z. (2020).

*Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. 38(1), 9-16.*

<https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>

Azuara, I., López, S., Jarillo, J., Pérez, P., Ortega, E., & Castillo, E. (2020).

*Disponibilidad de forraje en un sistema silvopastoril con diferentes densidades de Leucaena leucocephala bajo manejo de pastoreo Voisin.*

Baldassini, P., Despósito, C., Piñeiro, G., & Paruelo, J. (2018). *Sistemas silvopastoriles del Bosque Chaco: Efectos de los árboles sobre el crecimiento del pasto. 156, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.008>*





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



111

Barsanti, L., & Gualtieri, P. (2023). *Algae anatomy, biochemistry and biotechnology*.

*Third Edition* (3a ed.). CRC Press.

Bautista, G., López, S., Pérez, P., Murillo, F., Ortega, E., & López, C. (2022). Estudio preliminar del pastoreo racional Voisin como herramienta para mejorar las condiciones del suelo después del pastoreo extensivo. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.893>

Bautista, L., Benavides, J., Cardona, W., Criollo, P., Torres, D., Albarracín, L., & Bolaños-, M. (2023). *Prácticas sostenibles para la conservación de suelos en sistemas productivos ganaderos de trópico alto*. 28(1), 9-22. <https://doi.org/10.21897/rta.v27i2.3169>

Beltrán, M. E., & Bernal, A. A. (2022). *Biofertilizantes: Alternativa biotecnológica para los agroecosistemas*. <https://doi.org/https://doi.org/10.21789/22561498.1771>

Bianco, L. (2020). *Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas*. 38(2), 21-29. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000200021>

Blanco, J., Romero, J., & Montilla, M. (2023). *Fijación biológica de nitrógeno y producción ganadera en ambientes tropicales*. 20(3). <https://doi.org/10.19053/01228420.v20.n3.2023.16684>

Bordron, B., Robin, A., Oliveira, I., Guillemot, J., Laclau, J., Jourdan, C., Nouvellon, Y., Abreu-Junior, C., Trivelin, P., Gonçalves, J., Plassard, C., & Bouillet, J. (2019). *Fertilization increases the functional specialization of fine roots in*





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



112

deep soil layers for young *Eucalyptus grandis* trees. 6-16.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.018>

Caamal, J., Soto, M., Rosales, V., Bautista, J., & Fraire, S. (2023). *Sistemas tradicionales y silvopastoriles de Escárcega, Campeche: Fertilidad química del suelo*. 3(2). <https://doi.org/10.53897/RevAIA.23.27.51>

Castellano, M., López, R., & Guridi, F. (2017). *Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz*. 3(38). <https://doi.org/10.1234/ct.v38i3.1392>

Castillo, A., & Maestre, F. (2011). *La costra biológica del suelo: Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica*. 84, 1-21.

Castillo, E., & Jarillo, J. (2020). *Sistemas silvopastoriles para manejo sostenible de la alimentación de rumiantes bajo pastoreo en el trópico*. 8(1), 11-13.

Céspedes, E., Rey, T., Mónaco, I., & Fernández, C. (2021). *Stock de fósforo, nitrógeno y carbono en suelo del Chaco semiárido con diferentes usos*. 2(41), 99-106.

Chamizo, S., Rodríguez, E., Canton, Y., & De Philippis, R. (2018). *Inoculación del suelo con cianobacterias: Revisión de su Potencial para la agricultura sostenible en las tierras secas*. 18(1).

Chará, J., Reyes, E., Peri, P., Otte, J., Arce, E., & Schneider, F. (2019). *Silvopastoral Systems and their Contribution to Improved Resource Use and Sustainable Development Goals: Evidence from Latin America*. 60.





Chittora, D., Meena, M., Barupal, T., Swapnil, P., & Sharma, K. (2020).

Cyanobacteria as a source of biofertilizers for sustainable agriculture.

*Biochemistry and Biophysics Reports*, 22, 100737.

<https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2020.100737>

Congo, C., Burbano, R., Chanaluisa, A., & Chiquimarca, E. (2024). *Relación de la concentración de clorofila con el contenido nutricional de seis arbustos forrajeros*. 1(31), 27-39.

Consejo de Planeación para el Desarrollo. (2022). *Plan Municipal de Desarrollo 2022-2025. Ozuluama de Mascareñas, Veracruz*. (p. 27).

Contreras, J., Martínez, J., & Falla, C. (2021). *Carbono acumulado en raíces de especies vegetales en sistemas silvopastoriles en el Norte de Colombia*. 55(1). <http://dx.doi.org/10.15359/rca.55-1.3>

Contreras, J., Martinez, J., Raghavan, B., López, L., & Garrido, J. (2021). *Sistemas silvopastoriles: Mitigación de gases de efecto invernadero, bosque seco tropical - Colombia*. *Agronomía Mesoamericana*, 901-919. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43313>

Contreras, R., Lara, A., Uribe, M., Cruz, A., Rodríguez, D., & Valencia, G. (2020). *Comportamiento forrajero del estrato herbáceo en diferentes densidades arbóreas de selva baja caducifolia*. 11(4).

Cordero, A., Contreras, J., Curasma, J., Tunque, M., & Enríquez, D. (2018). *Degradabilidad y estimación del consumo de forrajes y concentrados en alpacas (Vicugna pacos)*. 29(2). <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i2.14484>



Corrales, L., Arévalo, Z., & Moreno, V. (2014). Solubilización de fosfatos: Una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova*, 12(21), 67-79.

<https://doi.org/10.22490/24629448.997>

Cruz, S., Torres, G., Cruz, A., Salcedo, I., & Victorino, L. (2022). Capítulo VII. Saberes tradicionales y el cambio climático global. En *diversidad ecológica y valor cultural de especies en México*. ASMIIA, A.C.

Daneshvar, E., Ok, Y., Tavakoli, S., Sarkar, B., Shaheen, S., Hong, H., & Bhatnagar, A. (2021). *Insights into upstream processing of microalgae: A review*. 329(124870). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124870>

Del Campo, Y., Romero, A., & Barrera, A. (2022). *Efecto fertilizante de costras biológicas del suelo y cachaza, sobre el cultivo de maíz (Zea Mays, L.)*. 2(10), 6-14.

Di Marco, O. (2011). *Estimación de calidad de los forrajes*. 20(240), 24-30.

Dvorák, P., Casamatta, D., Hasler, P., Jahodárová, E., Norwich, A., & Poulícková, A. (2017). *Diversity of the Cyanobacteria*. In: Hallenbeck P. (eds) *Modern Topics in the Phototrophic Prokaryotes*.

Elsabaawy, E., & Gad, S. (2021). Los lípidos en la nutrición de los rumiantes y su efecto en la salud humana. En *Tecnologías de agricultura de precisión para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad* (1a ed., pp. 344-467). IGI Global.

Enríquez, Q., Esqueda, V., & Bolaños, A. (2020). *Leguminosas forrajeras para mejorar la alimentación de bovinos en el trópico de México*.



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERA  
CRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



115

Espinosa, O., Castillo, G., Arellano, L., Pérez, P., & López, S. (2020). *Diversidad florística y carga ganadera en la vegetación secundaria del bosque seco tropical utilizada para pastoreo.* 23.

<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01088>

Evan, T., & Marcos, C. (2020). *In Vitro and In Situ Evaluation of Broccoli Wastes as Potential Feed for Ruminants.* 10(1989), 1-14.

Fajardo, G., Mejía, N., & Gutiérrez, J. (2018). Potencial calórico y acumulación de biomasa de la especie *Leucaena macrophylla* Benth. Establecida con tres tipos de espaciamiento en Cortes, Honduras. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15, 79-86. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v15i1.3840>

Finkel, O., Castrillo, G., Herrera, S., Salas, I., & Dangl, J. (2017). *Comprender y aprovechar los microbios beneficiosos para las plantas.* 38, 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.04.018>

Fonseca, D., Vivas, N., & Balaguera, H. (2020). *Técnicas aplicadas en la investigación agrícola para cuantificar la fijación de nitrógeno: Una revisión sistemática.* 1(21), 1-19.

Galvão, A., Silva, J., Albertino, S., Monteiro, G., & Cavalcante, D. (2011). *Levantamento fitossociológico em pastagens de várzea no estado do Amazonas.* 1(29), 69-75.

García, V., Aranibar, J., & Villagra, P. (2023). *Efecto de la luz, la humedad y la salinidad sobre el crecimiento de los organismos que componen la costra biológica del suelo.* 33(3), 962-977.

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024



200 AÑOS  
VERACRUZ  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



116

Giraldo, N., & Chará, J. (2022). *Efecto de los sistemas silvopastoriles intensivos en la reducción de la degradación física y biológica del suelo*. 34, 17.

Girkin, N., & Cooper, H. (2023). *Nitrógeno y amoníaco en los suelos*. 2, 142-151.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00010-0>

Gómez, B., & Ruíz, L. (2019). *Sistema silvopastoril intensivo, alternativa sustentable para ganado bovino de doble propósito en pastoreo* (1.<sup>a</sup> ed.).

Guilcapi, E., Gualpa, M., & Ortiz, L. (2019). *Efecto de Diferentes Dosis de Humus, Fitohormonas y Tiempos de Aplicación en la Producción Primaria del Pasto Arrhenatherum elatius*. 15(15).

<https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n15p309>

Guzmán, D., & Montero, J. (2021). *Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno*. 8(2). <https://doi.org/10.53287/uyxf4027gf99e>

Hernández, D., Carmona, J., Hidalgo, M., Dendooven, L., Marsch, R., & Cañizares, R. (2016). *Identificación morfológica y filogenética de un consorcio microbiano fotosintético de posible interés biotecnológico*. 26(2), 311-321.

Hernández, G., Hernández, M., Sol, A., Rosales, F., & Hernández, G. (2023). *Importancia forrajera y nutricional de Leucaena leucocephala en sistemas silvopastoriles*. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 9(17), 2140-2152.

<https://doi.org/10.5377/ribcc.v9i17.16400>

Hernández, G. I., Hernández-Hernández, M., Sol-Sánchez, A., Rosales-Martínez, F., & Hernández-Salinas, G. (2023). *Importancia forrajera y nutricional de*





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



117

Leucaena leucocephala en sistemas silvopastoriles. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 9(17), 2140-2152. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v9i17.16400>

Hernández, J. (2023). La agricultura de exportación en Sonora y su relación con la biotecnología: Impactos productivos y socioeconómicos. En *Aspectos socioeconómicos e institucionales de la biotecnología en México* (pp. 87-113). IISUNAM.

Hernández, M., López, S., Jarillo, J., Ortega, E., Pérez, S., & Díaz, P. (2020). *Rendimiento y calidad nutritiva del forraje en un sistema silvopastoril intensivo con Leucaena leucocephala y Megathyrus maximus cv. Tanzania*. 53-69.

Hernández, M., López, S., Jarillo, J., Ortega, E., Pérez, S., & Díaz, P. (2021). *Rendimiento de forraje e interacciones aéreas en función de la densidad de árboles de Leucaena leucocephala asociada a la gramínea Digitaria eriantha*. 25(3). <https://doi.org/10.53897/RevAIA.21.25.31>

Hernández, M., López, S., Jarillo, J., Ortega, E., Pérez, S., Díaz, P., & Crosby, M. (2020). Rendimiento y calidad nutritiva del forraje en un sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* y *Megathyrus maximus cv. Tanzania*. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(1), 53-69. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4565>

IICA. (2023). *Fichas técnicas por especie. Descripción, manejo y arreglo espacial*.





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERACRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



118

Infante, A. (2021). Diseño de sistemas productivos agroecológicos. En *Agroecología Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de Los Ríos* (p. 370).

Jose, S., & Dollinger, J. (2019). *Silvopastoreo: Un sistema de producción ganadera sostenible*. 93, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00366-8>

Kholssi, R., Vogelei, P., Marks, E., Montero, O., & Rad, C. (2021). *Usos biotecnológicos de las microalgas: Una revisión del estado del arte y los retos para la economía circular*. 36(102114). <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102114>

Krause, S., Bertilsson, S., Grossart, H., Bodelier, P., Van Bodegom, P., Lennon, J., Philippot, L., & Le Roux, X. (2022). Capítulo cuatro—Enfoques basados en rasgos microbianos para agroecosistemas. En *Avances en Agronomía* (Vol. 175, pp. 259-299). Academic Press.

López, I., Martínez, L., Pérez, G., Reyes, Y., Núñez, M., & Cabrera, J. (2020). *Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada*. 41(2). <http://ediciones.inca.edu.cu>

López, J., Casanova, F., Villanueva, G., Díaz, V., Solorio, F., Martínez, P., Aryal, D., & Chay, A. (2019). *Carbon storage in a silvopastoral system compared to that in a deciduous dry forest in Michoacán, Mexico*. 199-211. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0259-x>





- López, O., Lamela, L., Sánchez, T., Olivera, Y., García, R., Herrera, M., & González, M. (2019). *Evaluación del valor nutricional de los forrajes en un sistema silvopastoril*. 42(1), 57-67.
- Lugo, L., & Rodriguez, L. (2018). *El agroecosistema: ¿Objeto de estudio de la agroecología o de la agronomía ecologizada? Anotaciones para una tensión epistémica*. 6(14). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2018.14.63382>
- Macías, P., Guevara, F., Ruíz, V., Reyes, M., La O, M., & Pinto, R. (2021). *Efecto de tres consorcios microbianos en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en Villaflores, Chiapas, México*. 7(13). <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941760009/index.html>
- Mahecha, L., Angulo, J., & Argüello, J. (2022). Capítulo 4. Sistemas silvopastoriles: Estrategia para la articulación de la ganadería bovina, desafíos del siglo XXI. En *Innovación en la investigación agropecuaria* (pp. 104-143). Biogénesis.
- Maqubela, M., Muchaonyerwa, P., & Mnkeni, P. (2016). *Efectos de la inoculación de dos cepas de cianobacterias sudafricanas sobre la estabilidad de los agregados de un suelo franco limoso*. 11(47).
- Martínez, M., Reyes, C., Lara, B., Miranda, R., Huerta, B., & Uribe, G. (2016). *Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca Potosina de México*. 16, 3343-3355.
- Martínez, P., Cortés, E., Purroy, R., Palma, J., Del Pozo, P., & Vite, C. (2019). *Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit especie clave para una producción*



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



120

bovina sostenible en el trópico. 22(2), 331-357.

<https://doi.org/10.56369/tsaes.2707>

Mejía, S., Suárez, E., Atencio, L., Tapia, J., Paternina, Y., & Cuadrado, H. (2020).

*Desempeño productivo de bovinos de levante en pastoreo rotacional de Bothriochloa pertusa (L) A. Camus en Colombia. 43(4), 352-360.*

Mendoza, J., Loera, O., Plata, F., Hernández, P., & Ramírez, M. (2014).

*Considerations on the Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve forage utilization. 1, 1-9. <https://doi/10.1155/2014/247437>*

Mercado, I., & Álvarez, Z. (2022). *Catálogo de microalgas y cianobacterias. 44(18), 1995-2037.*

Miliarium Aureum, S. L. (2004). *Salinización de suelos [en línea].*

<http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Suelos/SalinizacionSuelos.html>

Moreno, L., Díaz, M., & Burkart, S. (2021). *Políticas públicas y sistemas silvopastoriles en Latinoamérica: Un estudio comparado. (58; p. 8).*

Muhammad, S., & Moe, L. (2014). *Interacciones microbianas multitróficas para procesos eco y agro biotecnológicos. Teoría y práctica. 529-537.*

Muñoz, I., Mendoza, C., López, G., Soler, A., & Hernández, M. (2000). *Manual de métodos de análisis de suelos. UNAM-Iztacala. UNAM-IFES, Iztacala.*

Murgueitio, E. (2017). *El mundo pide una ganadería amiga de la naturaleza y de la gente. 15-18.*





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



121

Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., & Rivera, J. (2019). *Desarrollo de la ganadería sustentable en sistemas silvopastoriles en América Latina*. 53(1), 65-71.

Murgueitio, E., Uribe, F., Molina, C., Molina, E., Galindo, W., Chará, J., Flores, M., Giraldo, C., Cuartas, C., Naranjo, J., Solarte, L., & González, J. (2016). *Establecimiento y Manejo de Sistemas Silvopastoriles Intensivos con Leucaena*. I CIPAV.

Murialdo, R., Daga, I., Pesci, H., Palmero, F., & Hang, S. (2022). *Evaluación del uso de cianobacterias nativas como biofertilizantes en cultivos de Zea mays L.* 9(1).

National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7.<sup>a</sup> ed.). National Academy Press.

Nevarez, L., Carrillo, E., López, J., Vargas, J., & Noriega, J. (2017). *Cinética de crecimiento de la microalga Chaetoceros muelleri en un fotobiorreactor*. XIX (3), 14-18.

Ocampo, L., Osorio, W., Martínez, J., & Roy, K. (2023). *Indicadores químicos de la salud del suelo en sistemas silvopastoriles, bosque de restauración y cultivo de maíz en un bosque seco tropical*. 11(3).

[https://doi.org/10.17138/tjft\(11\)220-232](https://doi.org/10.17138/tjft(11)220-232)

Osorio, J., Calderón, V., López, O., & Restrepo, D. (2024). *Importancia de la disponibilidad de alternativas forrajeras para la alimentación de ganado bovino*. 20(39), 18-30. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n39a2>

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERA  
CRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



122

Pachas, A., Shelton, H., Lambrides, C., Dalzell, S., Murtagh, G., & Hardner, M.

(2018). *Efecto de la densidad de árboles sobre la competencia entre Leucaena leucocephala y Chloris gayana mediante un ensayo de Nelder Wheel. II. Interacciones subterráneas.* 69(7), 733-744.

<https://doi.org/10.1071/CP18040>

Palazzini, D., Pisetta, T., Galasso, G., Harrand, L., Del Tufo, N., Mujica, G., & Pathauer, P. (2023). *Evaluación preliminar de clones de Eucalyptus en sistemas silvopastoriles del norte de Buenos Aires.* XII Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles, II Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles, IV Seminario Seminario Nacional de Sistemas Silvopastoriles, V Congreso Nacional Sistemas Silvopastoriles, Montevideo, Uruguay.

Palma, D., Moreno, E., Rincón, J., & Shirma, E. (2008). *Degradación y Conservación de los Suelos de Tabasco* (Primera Edición). Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET.

Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). *Handbook of soil analysis: Mineralogical, organic and inorganic methods.* Springer.

Perera, I., Abinandan, S., Subashchandrabose, S., Venkateswarlu, K., Naidu, R., & Megharaj, M. (2021). *Microalgal–bacterial consortia unveil distinct physiological changes to facilitate growth of microalgae.* 97(3).

<https://doi.org/10.1093/femsec/fiab012>

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101

[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



200 AÑOS  
VERACRUZ  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



123

Pérez, A., Gómez, B., Salinas, V., Pérez, J., Nuncio, M., & García, J. (2022).

*Producción y valor nutricional de forraje en un sistema silvopastoril de clima templado subhúmedo.* 9, 52-58.

Pérez, E., Ruíz, B., Sánchez, Y., Canseco, M., & Pérez, Y. (2023). *Rendimiento y composición química de Panicum maximum cv. Tanzania en un sistema silvopastoril en Chiapas.* 25(2), 97-104.

<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1844>

Pérez, Y., García, C., Ríos, L., & Múnera, L. (2020). *Efecto de un Consorcio de cianobacterias sobre la obtención de biomasa vegetal de la gulupa (Passiflora edulis f. Edulis sims) bajo condiciones de campo en el municipio de Marinilla—Antioquia.* 11((1-2)), 12-21.

<https://doi.org/10.17533/udea.hm.v11n1a02>

Pérez, Y., López, I., & Reyes, Y. (2020). *Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos.* 41(2).

Pincay, R., Luna, R., Espinoza, A., & Medina, M. (2020). *Inoculantes bacterianos del género Azotobacter en la asociación del pasto Andropogon gayanus con Clitoria ternatea y kudzu (pueraria phaseoloides).* 8(2), 27-35.

Pineda, A. (2022). *Cianobacterias, el alfa y omega: Cambiaron nuestra atmósfera y serán las últimas en irse.* 9(7), 1-7.

Polanía, K., Olaya, A., Cherubin, M., Herrera, W., Ortiz, F., & Silva, A. (2021). *Soil physical quality responses to silvopastoral implementation in Colombia Amazon.* 114900, 386. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114900>





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



124

Quintana, A., Hurtado, M., Hernández, C., & Palacios, E. (2018). *Carotenoides.*

*¿Qué son y para qué se usan? 69(4).*

Ramírez-López, C. (2011). *Fertilización de trigo (Triticum aestivum) variedad Bárcenas empleando un consorcio microbiano fotosintético fijador de nitrógeno.* Tesis de Maestría. CINVESTAV-IPN.

Ramírez, C., Esparza, F., Ferrera, R., Alarcón, A., & Cañizares, R. (2019). *Efectos a corto plazo de un consorcio microbiano fotosintético y la fertilización con nitrógeno sobre las propiedades químicas del suelo, el crecimiento y el rendimiento del trigo en condiciones de invernadero.* 31, 3617-3624.  
<https://doi.org/10.1007/s10811-019-01861-2>

Ráudez, D., & Rojas, J. (2021). *Dimensiones para la sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuarios excluidos de la agroecología.* 136-152.  
<https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.5377/farem.v0i0.11614>

Revillini, D., Gehring, C., & Johnson, N. (2016). *The role of locally adapted mycorrhizas and rhizobacteria in plant-soil feedback systems.* 30(7), 1086-1098. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12668>

Reyes, I. (1996). *Fundamentos teórico-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo: Parte I.* Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

Rivera, J., Colcombet, L., Santos-Gally, R., Murgueitio, E., Díaz, M., Mauricio, R., Peri, P., & Chará, J. (2021). *Sistemas Silvopastoriles: Ganadería Sostenible con Arraigo e Innovación.* CIPAV.





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERA  
CRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



125

Rivera, J., Molina, I., Chará, J., Murgueitio, E., & Barahona, R. (2017). *Intensive silvopastoral systems with Leucaena leucocephala (Lam) de Wit: Productive alternative in the tropic in view of climate change*. 40, 159-170.

Rivera, M., Mojica, J., Garay, G., Cordero, C., & Ipaz, C. (2023). En *Eficiencia hídrica y productividad en dos sistemas silvopastoriles del Caribe seco colombiano* (pp. 111-145). Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA.

Roca, J., Vera, J., Rivera, C., & Brito, F. (2020). *La nutrición de rumiantes en la zona norte de Manabí en la formación de estudiantes de Ingeniería Agropecuaria y Medicina Veterinaria*. 17(3), 571-582.  
<https://maestrosociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/5225>

Rojas, A., Maldonado, M., Hernández, F., Hernández, A., Chay, A., & Ventura, J. (2021). *Potencial forrajero de guaje (Leucaena leucocephala) a diferentes densidades de plantas y edades de rebrote*. II.  
<https://doi.org/10.19136/era.a8n11.2919>

Rojo, M. (2023). *El papel de los servicios ecosistémicos en el diseño de las transiciones agroecológicas en España*. 61.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101531>

Romero, G., Echeverría, M., Hidalgo, V., Aguirre, L., Robles, R., & Núñez, J. (2020). *Efecto del faique (Acacia macracantha) sobre el valor nutricional del pasto guinea (Panicum maximum Jacq.) en un sistema silvopastoril*. 31(1).  
<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17562>

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024



200 AÑOS  
VERACRUZ  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



126

Roque, R., Silva, J., & Barrera, M. (2022). *Sistemas silvopastoriles para la producción ganadera en el Centro de Producción Limón Rocío de la UNSM-T. 2(2).*

Rosales-Loaiza, N., Díaz, L., Aiello-Mazzarri, C., & Avendaño, E. M.-. (2017). *Cultivos a cielo abierto de las cianobacterias Nostoc LAUN0015 y Anabaena MOF015 para la producción de biomasa enriquecida. Pruebas piloto para cultivos masivos. 48(3).*

Sáenz, J., Sáenz, J., Castillo, D., Castillo, F., Muñoz, H., & Rueda, A. (2021). *Áreas potenciales para establecer sistemas silvopastoriles a partir del nicho ecológico de dos cultivos forrajeros y tres especies de coníferas. 27(2), 289-308. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 27(2), 289-308. <http://doi: 10.5154/r.rchscfa.2020.07.048>*

Saikia, S., & Jain, V. (2007). *Fijación biológica de nitrógeno con no leguminosas: Un objetivo alcanzable o un dogma. 317–322.*

Salazar, J., Nuela, M., Masaquiza, J., & Quinteros, O. (2024). *Interacción suelo, planta, animal en el contexto de dos sistemas productivos desarrollados en ambientes ecológicos diferentes. 8(1), 474-486. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8il.9431](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8il.9431)*

Sánchez, A., González, J., & Faria, J. (2007). *Evolución comparada de la composición química con la edad al corte en las especies Leucaena leucocephala y L. trichodes. 25(3).*





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERA  
CRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



127

Sánchez, J., Zita, G., & Mendoza, M. (2012). *Catálogo de las gramíneas malezas nativas e introducidas de México* (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria, SENASICA Dirección General de Sanidad Vegetal, DGSV).

Sandoval, C. (2021). *Sistemas inteligentes para la protección de ecosistemas, flora y fauna*. 25(110), 138-154. <https://doi.org/10.47460/uct.v25i110.486>

Santhosh, S., Dhandapani, R., & Hemalatha, N. (2016). *Una revisión sobre las posibles aplicaciones biotecnológicas de las microalgas*. 179-184.

Santiago, I., Lara, A., Miranda, L., Huerta, M., Krishnamurthy, L., & Muñoz, J. (2016). *Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias*. 7.

Sierra-Alarcón, A. M., Moreno-Oviedo, Y., Mancipe-Muñoz, E. A., Avellaneda-Avellaneda, Y., & Vargas-Martínez, J. D. J. (2019). Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en raigrases perennes y tréboles rojos. *Agronomía Mesoamericana*, 841-854. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35170>

Silva, E., Silva, W., Barreto, A., Oliveira, A., Paes, J., & Ruas, J. (2012). *Chemical composition and photosynthetically active radiation of forage grasses under irrigation*. 41, 583-591.

Silva, F., Borja, M., Plaza, L., & Marini, P. (2022). *Voisin Rational Grazing: An Agroecological Alternative to Achieve Sustainable Livestock in Ecuador*. 2(1), 104-112. <https://doi.org/10.18502/epoch.v2i2.11187>

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



128

Sithole, N., Gupta, S., Dube, Z., Ogbe, A., & Van Staden, J. (2023). Algae and cyanobacteria-based biostimulants in controlling plant-parasitic nematodes: A sustainable approach for crop protection. *Phytoparasitica*, 51(4), 803-813. <https://doi.org/10.1007/s12600-023-01094-7>

Smercina, D., Kim, Y., Lipton, M., Velickovic, D., & Hofmockel, K. (2022). *Bulk and spatially resolved extracellular metabolome of free-living nitrogen fixation*. 88(12). <https://doi.org/10.1128/aem.00505-22>

Soletto, D., Binaghi, L., Lodi, A., Carvalho, J., & Convert, A. (2005). *Cultivos por lotes y por lotes alimentados de Spirulina platensis usando sulfato de amonio y urea como fuentes de nitrógeno*. 243, 217-224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.acuicultura.2004.10.005>.

Solórzano, D., Domínguez Vizcarra, L., Vega López, J. A., García García, A., González Rebeles, M. A., Carmona, C., Mendez Guzmán, D., & Ortega Reyes, E. (2020). *Hacia una Ganadería Sustentable y de Bajas Emisiones en México: Una propuesta de implementación de una acción nacionalmente apropiada de mitigación para transitar hacia la ganadería bovina extensiva sustentable*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Sosa, E., Mendoza, S., Huerta, L., González, F., Silva, M., & Bárcena, J. (2021). *Composición nutricional de seis gramíneas tropicales del estado de Jalisco, México. Esp. II*, 1-7. <https://doi.org/10.19136/era.a8nll.2938>





Soumare, A., Diedhiou, A., Thuita, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Gopalakrishnan, S.,  
& Kouisni, L.

(2020). *Explotación de la fijación biológica de nitrógeno: Una ruta hacia una agricultura sostenible*. <https://doi.org/10.3390/plants9081011>

Tirado, D., Miranda, L., Ruíz, A., Medina, S., Ramírez, R., & Tirado, G. (2017). *Meta-analysis: Effects of exogenous fibrolytic enzymes in ruminant diets*. 46(1), 771-783. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1399135>

Toribio, A., Suárez, F., Jurado, M., López, J., Martínez, M., & López, M. (2022). *Design and validation of cyanobacteria-rhizobacteria consortia for tomato seedlings growth promotion*. 12(13150). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17547-8G>

Torres, L., Escobar, D., Soto, J., Daza, M., & Torres, P. (2021). *Evaluación de la mineralización del nitrógeno en un suelo ácido bajo fertilización inorgánica y orgánica*. 26(2), 197-212. <https://doi.org/10.14483/23448393.16954>

Trujillo, M., & Ramírez, E. (2016). *Biofertilizer: An alternative to reduce chemical fertilizer in agriculture*. 4(2), 99-103. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4935.4967>

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial*. United Nations. <https://doi.org/10.18356/9789210024938>



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



130

Valles, B., & Cadish, G. (2010). *Determinación de la fijación biológica de N<sub>2</sub> usando la técnica de abundancia natural del N<sup>15</sup> en tres ecotipos de cacahuete forrajero*. 1(2), 99-114.

Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M., & Saghai, Y. (2021). A metaanalysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. 2, (7), 494-501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>

Vargas, P., Alejandro, A., Centanaro, P., & Valverde, L. (2022). *Efectos de la fertilización nitrogenada en el cultivo de lechuga (lactuca sativa) en el cantón Pedro Carbo, provincia del Guayas*. 144-157. <https://doi.org/10.32645/13906925.1196>

Vega, A. (2015). *El efecto del nitrógeno en las enfermedades de las plantas*. 52. [https://agronomia.uc.cl/component/com\\_sobipro/Itemid,232/pid,1675/sid,1691/](https://agronomia.uc.cl/component/com_sobipro/Itemid,232/pid,1675/sid,1691/)

Velázquez, D., & Quesada, A. (2011). *Las cianobacterias en ambientes polares*. 20(1), 11-22.

Vinoles, C., Kássio, J., Benítez, V., García, L., & Báez, F. (2022). *Avances en el conocimiento sobre los Sistemas Silvopastoriles en Uruguay*. 30(1), 43-53. <https://doi.org/10.53588/alpa.300505>

Vite, C., Hernández, P., Cortés, E., Hernández, P., García, J. M. P., Alberto, J., Estrada, S., & González, M. (2022). *Modelos cuantitativos desarrollados con estrategias no destructivas para la estimación del área foliar en Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit*. 24(2), 51-66.

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz

VERACRUZ  
ME LLENA DE ORGULLO



131

Vite, C., Martínez, P., Cortés, E., Pérez, P., Palma, J., & Miranda, L. (2019). *calidad fermentativa y digestibilidad in vitro de accesiones de Leucaena de distintas procedencias agroclimáticas de México*. 6(2).

Xu, F., Vaziriyeganeh, M., & Zwiazek, J. (2020). *Efectos del pH y la nutrición mineral sobre el crecimiento y las respuestas fisiológicas de plántulas de álamo temblón ( Populus tremuloides ), pino jack ( Pinus banking ) y abeto blanco (Picea glauca) en cultivo en arena*. 9(6), 682.  
<https://doi.org/10.3390/plants9060682>

Zavaschi, E., Faria, L., Vitti, G., Nascimento, C., de Moura, T, do Vale, D., Mendes, F., & Kamogawa, M. (2014). *Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize*. 4(38).  
<https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400016>

Zepeda, R., Nahed, J., & Velasco, M. (2021). *Evaluación de unidades ganaderas e índice de desarrollo de sistema silvopastoriles en el municipio de Mezcalapa, Chiapas*. 25(1), 57-74.

Zúñiga, E., Martínez, E., Zavaleta, E., & Gamboa, A. (2017). *El floema y la ruta simplástica durante la formación de órganos de demanda*. 40(3), 249-259.

Zúñiga, M. (2022). *Uso de la cianobacteria nostoc muscorum como biofertilizante y sus efectos tanto en el desarrollo del frijol (phaseolus vulgaris) como en las características del suelo en condiciones de invernadero*. Universidad de Costa Rica.



## Anexos

### Artículo

**Productividad y calidad forrajera de un sistema silvopastoril biofertilizado con un consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno**

**Productivity and forage quality of a silvopastoral system biofertilized with a consortium of nitrogen-fixing cyanobacteria**

**Huberto Martínez-Domínguez<sup>1</sup>, Citlally Ramírez-López<sup>2</sup>, Karla Lissette Silva-Martínez<sup>1</sup>, Claudio Vite-Cristóbal<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, ITS Tantoyuca, Maestría en Producción Pecuaria Tropical. Desviación Lindero Tametate s/n, Col. La Morita. CP 92100, Tantoyuca, Veracruz. México. Email: [claudio.vite@itsta.edu.mx](mailto:claudio.vite@itsta.edu.mx) [karla.silva@itsta.edu.mx](mailto:karla.silva@itsta.edu.mx), [m223s0003@itsta.edu.mx](mailto:m223s0003@itsta.edu.mx)

<sup>2</sup>Instituto de Ecología, Universidad del Mar, Puerto Ángel, 70902, Oaxaca, México. [citlally@angel.umar.mx](mailto:citlally@angel.umar.mx)

\*Corresponding author

#### SUMARY

**Background.** Conventional livestock farming has generated an ecosystem imbalance, which makes livestock processes impossible. Silvopastoral systems (SPS) are a strategy to convert livestock farming into a sustainable practice; the application of nitrogen-fixing cyanobacteria (NFC) places them as an area of opportunity due to their high added value in biomass. **Objective.** To evaluate the effect of the application of a NFC consortium on productive parameters and forage quality of an SSP with *L. leucocephala*, during the Spring-Summer (SS) and Autumn-Winter (AW) period and at different crop ages in Ozuluama, Veracruz. **Methodology.** Fertilization was applied prior to each harvest with a frequency of 56 days, forage sampling was done through observation of animal behavior in rational grazing. The variables were plant height (PH), Green forage weight (GFW) and herbaceous layer (HL), Leaf Area (LA), Dry Matter (DM), Leucaena Dry Matter (LDM), Green Matter Yield (GMY), Leucaena Green Matter Yield (LGMY), Dry Matter Yield (DMY), Leucaena Dry Matter Yield (LDMY), DMHL, YHLGM, YDMHL, Total Green Biomass Yield (TGBY), Total DMY (TDMY); as well as the contents of Moisture, DM, Ash, Proteins (CP), Fats, Neutral and Acid Detergent Fiber (DF) were determined. The variables were subjected to an analysis of variance with a statistical model that included the fixed effects of Age, Consortium and Pending as a blocking criterion, as well as the random effect of Season of the year as a covariate. **Results.** The CFN consortium did not influence ( $p>0.05$ ) the productivity and forage quality of the SSP. The crop was 1.9 times and 14.2% higher ( $p<0.05$ ) at five years and in the AW compared to two years and in the SS. The AW period surpassed the SS by 11.1 times ( $p=0.0103$ ) in LA in the two-year crop; the RMVT in the AW and the two-year crop doubled ( $p<0.0001$ ) the results obtained in the SS and in the five-year crop; the NDF in the AW for the two-year crop was 50% higher ( $p=0.0300$ ) than the five-year crop. The CP in the five-year crop exceeded ( $p=0.0087$ ) the two-year crop by 69.2%. **Conclusion.** The adaptability of the NFC consortium in tropical ecosystems, despite not improving productivity and forage quality, allowed us to generate sufficient information on the relationship of *L. leucocephala* in an SPS.

Keywords: Sustainable livestock, livestock biotechnology, adaptable microorganisms, environmental resilience



## RESUMEN

**Antecedentes.** La ganadería convencional ha generado un desequilibrio ecosistémico, lo que imposibilita los procesos pecuarios. Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una estrategia para convertir la ganadería en una práctica sustentable, la aplicación de cianobacterias fijadoras de nitrógeno (CFN) las sitúa como un área de oportunidad por su alto valor agregado en la biomasa. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la aplicación de un consorcio de CFN sobre parámetros productivos y calidad forrajera de un SSP con *L. leucocephala*, durante el periodo Primavera-Verano (PV) y Otoño-Invierno (OI) y a distintas edades del cultivo en Ozuluama, Veracruz. **Metodología.** La fertilización fue aplicada previa a cada cosecha con una frecuencia de 56 días, el muestreo del forraje fue mediante la observación del comportamiento animal en pastoreo racional. Las variables fueron Altura de Planta (AP), Peso Verde del forraje (PVL) y del estrato herbáceo (HB), Área Foliar (AF), Materia Seca (MS) de Leucaena (MSL), Rendimiento de Materia Verde (RMV) de Leucaena (RMVL), Rendimiento de Materia Seca (RMS) de Leucaena (RMSL), MSHB, RMVHB, RMSHB, Rendimiento de Biomasa Verde Total (RBVT), RMS Total (RMST); así como también se determinaron los contenidos de Humedad, MS, Cenizas, Proteína, Grasas, Fibra Detergente (FD) Neutro y FD Ácida. Las variables fueron sometidas a un análisis de varianza con un modelo estadístico que incluyó los efectos fijos de Edad, Consorcio y Pendiente como criterio de bloqueo, así como el efecto aleatorio de Estación del año como covariable. **Resultados.** El consorcio de CFN no influyó ( $p>0.05$ ) sobre las productividad y calidad forrajera del SSP. El cultivo fue 1.9 veces y 14.2% más alto ( $p<0.05$ ) a los cinco años y en OI que en el de dos años y en PV. El periodo OI superó 11.1 veces ( $p=0.0103$ ) el AF al de PV en el cultivo de dos años; el RMVT en OI y en el cultivo de dos años duplicaron ( $p<0.0001$ ) a lo obtenido en PV y en el cultivo de cinco años; la FDN en OI para el cultivo de dos años superó ( $p=0.0300$ ) en 50% al cultivo de cinco años. La PC en el cultivo de cinco años superó ( $p=0.0087$ ) en 69.2% al de dos años. **Implicaciones.** La relación entre el transporte de nutrientes y el proceso de lignificación amerita investigaciones futuras para mejorar condiciones nutricionales en la planta. **Conclusión.** La adaptabilidad del consorcio de CFN en ecosistemas tropicales, a pesar de no mejorar la productividad y calidad forrajera, permitió generar información suficiente sobre la relación de *L. leucocephala* en un SSP.

**Palabras clave:** *Ganadería sostenible, biotecnología pecuaria, microorganismos adaptables, resiliencia ambiental.*

## Introducción

Los sistemas tradicionales de producción pecuaria en el trópico son implementados sin mostrar alternativas que garanticen rentabilidad y sostenibilidad, a pesar de los beneficios económicos, existen efectos negativos originados por la ganadería extensiva (Bautista et al., 2023); los malos manejos en las prácticas convencionales se ven reflejados en la pérdida de la fertilidad, erosión y salinización del suelo (Polanía et al., 2021), así como en la afectación de las fuentes hídricas, pérdida de biodiversidad y emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

Entre los principales desafíos que enfrenta la agricultura, se encuentran: Contribuir a la seguridad alimentaria de una población en constante crecimiento, estimada en alcanzar los 9,500 millones de habitantes para el año 2050 (Van Dijk et al., 2021), sin comprometer los recursos naturales (Castillo y Jarillo, 2020), así como rediseñar los sistemas de producción, disminuyendo los insumos externos, sin que esto genere pérdidas significativas en los rendimientos (Contreras et al., 2020); sin embargo, los sistemas de producción animal en el trópico se caracterizan por tener un bajo rendimiento, debido al manejo deficiente de forrajes basados en pasturas en monocultivos, poca diversidad de plantas y una planeación inadecuada en la fertilización (Mejía et al., 2020); la producción de forraje de manera natural y económica que garantice el bienestar animal debe ser un objetivo fundamental para que los productores puedan obtener rendimientos forrajeros sostenibles, siendo cada vez más resilientes a las variaciones originadas por el cambio climático (Murgueitio et al., 2019).

Por todo lo anterior, se propone como una alternativa para la optimización de los recursos disponibles en el trópico a los Sistemas Silvopastoriles (SSP) los cuales se basan en hacer asignaciones de suelos ajustados a la oferta natural del ecosistema considerando diferentes condiciones (Infante, 2021), los SSP permiten disponer simultáneamente especies pecuarias domésticas con forestales en una misma área logrando la integración de especies leñosas, herbáceas y animales; esta interacción permite mejorar la productividad, incluyendo cambios en el microclima asociado a la pastura (Contreras et al., 2020), el silvopastoreo favorece la conversión de



VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



134

energía solar en biomasa a través de los estratos de la vegetación, restaurando suelos degradados y mejorando la oferta de forrajes de alta calidad en altas densidades para el ramoneo directo del ganado (Pérez et al., 2023), a nivel edáfico promueven la retención del agua en el suelo disminuyendo la escorrentía (Giraldo y Chará, 2022).

La inclusión de *L. leucocephala* a este tipo de sistemas ha dado buenos resultados, es capaz de incrementar y mejorar la calidad del forraje (Rojas et al., 2021), además de promover una relación simbiótica entre las raíces y las bacterias del género *Rhizobium* (Hernández et al., 2023), asimismo, *M. maximus* Jacq. cv Miyagui es una de las gramíneas con gran aceptación por los productores, debido a su elevado rendimiento, buena aceptación del ganado y su fácil adaptación a diversas condiciones climáticas y edafológicas (Hernández et al., 2020).

Una alternativa capaz de disminuir la fertilización nitrogenada convencional, es la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), al ser un proceso natural en el cual los microorganismos fijadores pueden hacer disponible este elemento hacia el suelo, mejorando el rendimiento de los cultivos y pasturas asegurando el desarrollo y la salud del ecosistema (Blanco et al., 2023); por tal razón, las cianobacterias fijadoras de nitrógeno (CFN) resultan en una excelente opción para la agricultura, ya que sus procesos metabólicos mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, promueven la actividad microbiológica y participan en el reciclaje de nutrientes (Alonso et al., 2021), favorecen la productividad de los cultivos, principalmente los géneros *Anabaena*, *Fisherella* y *Nostoc* (Trujillo y Ramírez, 2016), poseen fitohormonas encargadas de la estimulación y el crecimiento de las plantas, contienen clorofilas, carotenos, vitaminas, aminoácidos, proteínas y enzimas (López et al., 2020), la diversidad de compuestos presentes en las cianobacterias les permite participar en diversos procesos fisiológicos en las plantas, además de presentar resistencia a condiciones de baja precipitación, altos niveles de radiación y largos periodos de sequía, la aplicación de cianobacterias como biofertilizantes en cultivos forrajeros puede contribuir significativamente a incrementar el potencial productivo y a impulsar a estos microorganismos como una alternativa ambientalmente positiva.

Ante la problemática abordada, es que se desarrolló esta investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de un consorcio de CFN sobre parámetros productivos y calidad forrajera de un SSP con *L. leucocephala*, durante el periodo Primavera-Verano (PV) y Otoño-Invierno (OI) y a distintas edades del cultivo en Ozuluama, Veracruz.





## MATERIAL Y MÉTODOS

### Lugar de estudio

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca en Tantoyuca, Veracruz y en el Rancho Loma Bonita de la Congregación Aguada Primera, Ozuluama de Mascareñas, Veracruz, México. Ozuluama colinda al norte con Pánuco y Tampico Alto; al este con Tampico Alto, Tamiahua y Tamalín; al sur con Tamalín, Tantima, Citlaltépetl y Chontla; al oeste con Chontla, Tantoyuca, Tempoal y Pánuco; presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (64%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (36%), con rangos de temperatura de 24 a 26°C y una precipitación media anual de 1100 – 1300 mm (CEIEG, 2022).

En específico, durante el periodo de estudio Ozuluama de Mascareñas registró 298 mm de precipitación, 40 y 60% en los periodos de Primavera-Verano y Otoño-Invierno, respectivamente; la temperatura máxima mensual fue de 24.7 a 35.0 °C y la mínima mensual de 17.4 a 26.8 °C; en julio, septiembre y diciembre se registraron la mayor y menor temperatura mensual máxima y mínima; y con tan solo dos meses de época lluviosa y los meses restantes de sequía (Figura 1), lo que se traduce en que el 2023 fue un año totalmente atípico.

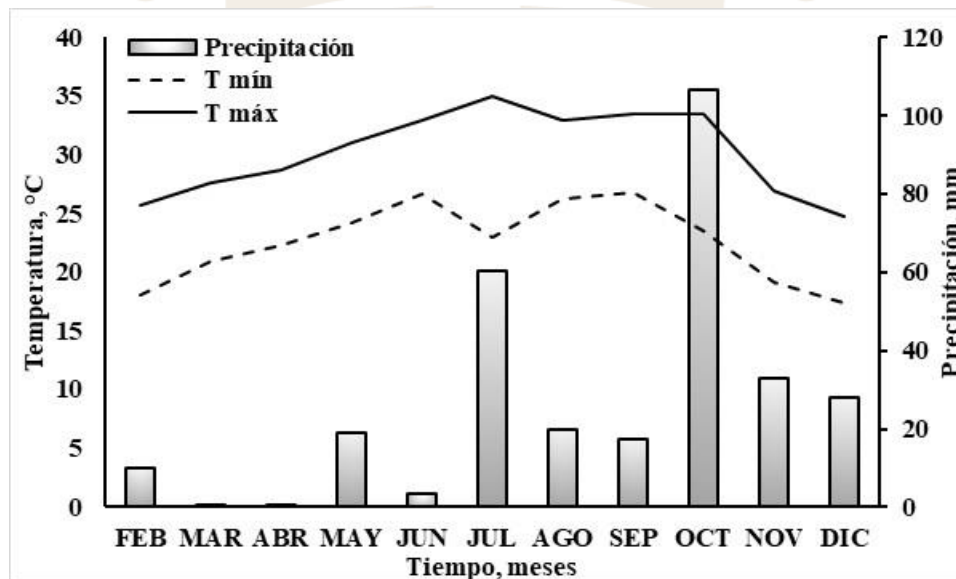


Figura 1. Temperatura media mensual máxima (T max) y mínima (T min) y precipitación mensual en Ozuluama de Mascareñas, Veracruz, México. Febrero-Diciembre 2023.

### Aislamiento, identificación y crecimiento del consorcio de CFN

El inóculo utilizado fue un consorcio de CFN obtenido de un suelo cultivado con papaya en Santa María Huatulco, Oaxaca, en octubre de 2007; desde su aislamiento, el consorcio se mantuvo en el medio líquido libre de nitrógeno BGA-11<sub>0</sub> (Rippka et al., 1979), contiene al menos dos géneros de CFN identificadas por su morfología, las cuales son *Anabaena* y *Fischerella*, siendo este último el género predominante, el consorcio fue evaluado bajo condiciones controladas en un fotobiorreactor implementando pruebas de cinética en un periodo de 33 días, así como determinaciones de laboratorio (nitrato, amonio, fósforo asimilable y Demanda Química de Oxígeno); a través de la correlación de peso seco y densidad óptica, se observó un crecimiento aceptable para la producción de biomasa expresada en mg·mL<sup>-1</sup>; los resultados obtenidos en la determinación de amonio, se relacionaron a la captación de nitrógeno atmosférico y en la fijación de nitrógeno por parte del consorcio, el cual expresó valores de liberación exponencial entre los días 18 y 20 con una concentración de 0.822 mg·L<sup>-1</sup>.

## Manejo holístico del rancho Loma Bonita

El sistema silvopastoril se estableció en el año 2011, las semillas de *L. leucocephala* y de pasto *M. maximus cv Miyagui* se esparcieron mediante siembra mecanizada con el apoyo de una sembradora de labranza cero (Sembradoras Dobladoenses®, RM2200, México). Los potreros no recibieron ningún tipo de fertilización y el establecimiento y manejo se realiza en condiciones de temporal. El rancho cuenta con zonas dedicadas al almacenamiento de bancos de proteína que contienen principalmente pasto *Brachiaria brizantha cv Marandú* y *M. maximus cv Miyagui* y cercos vivos donde predominan árboles de Copite (*Cordia dodecandra A.*). En el mes de octubre del 2023 se presentó una plaga ocasionada por gusano falso medidor (*Pseudoplusia includens* (Walker)) en las unidades experimentales de cinco años.

Para el manejo de los animales durante el estudio fueron utilizadas cuatro vacas y cuatro becerros de la craza Suizo-Cebú en sistema de doble propósito, las primeras con una edad aproximada de siete años y un peso promedio de 475 kg, los becerros fueron de una edad de ocho meses y 140 kg, respectivamente.

El manejo del pastoreo fue racional Voisin que consistió en la rotación de los animales utilizando un potrero por día con una superficie aproximada de 4500 m<sup>2</sup> (Figura 2), la alternancia de potreros fue en periodos de 24 h, se recorrieron un total de 60 potreros con dichos periodos de ocupación, el inicio de la ordeña se realizó a las 04:00 a.m., mientras que la rotación comenzó a las 11:00 a.m. Cada 60 días, mediante la observación del comportamiento animal se muestreó el forraje perteneciente al sistema silvopastoril.

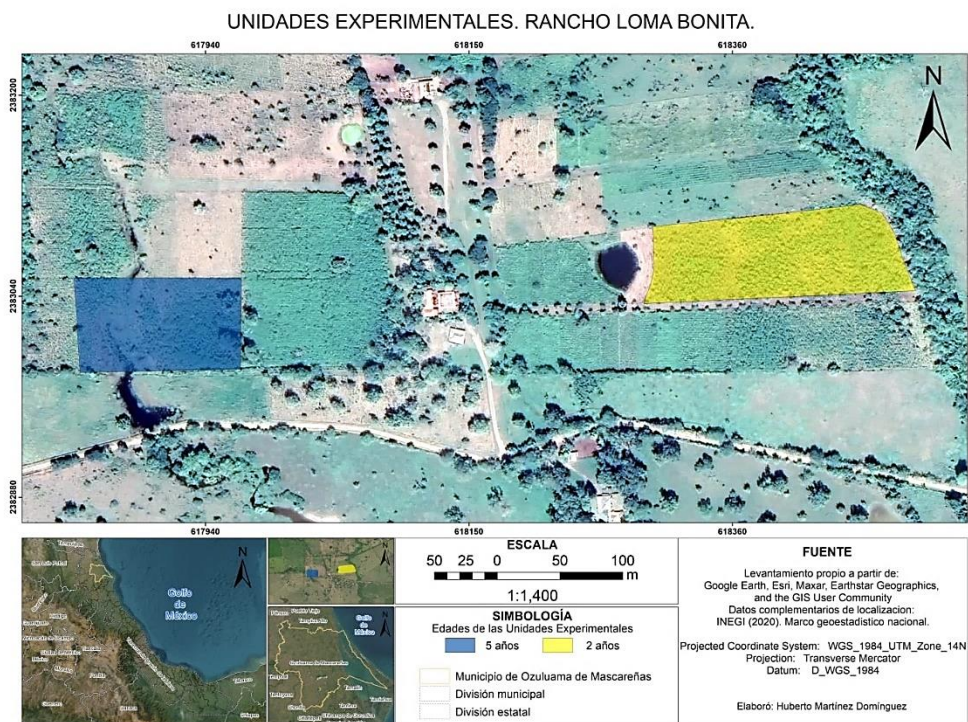


Figura 2. Área de estudio del Sistema silvopastoril en Ozuluama de Mascareñas, Veracruz.

## Diseño experimental

El experimento correspondió a un diseño de Bloques al Azar en arreglo de Parcelas Divididas. El factor Edad del sistema silvopastoril fue considerado como efecto de Parcela Grande, en tanto la aplicación del consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno fue considerado como Parcela Chica con una dimensión de 24 m<sup>2</sup>, un aproximado de 40 plantas por unidad experimental y un espacio de 1.2 m entre surco y surco. El criterio de



**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



bloqueo fue la pendiente del terreno, definidas como pendientes baja y alta (Figura 2). También fue considerado como factor de estudio la estación del año, clasificadas como temporadas de primavera-verano y otoño-invierno.

El diseño experimental para la biofertilización al sistema silvopastoril se constituyó por un testigo absoluto el cual fueron las parcelas denominadas “Sin aplicación”. Se estableció un tratamiento correspondiente al consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno, las parcelas que fueron evaluadas con el tratamiento fueron descritas Con aplicación. La dosis del consorcio de CFN fue de 500 mL por planta, la fertilización fue aplicada previa a cada cosecha con una frecuencia de 56 días entre aplicaciones para un total de cinco repeticiones (cosechas).





## VARIABLES DE ESTUDIO

### Parámetros productivos

Las variables agronómicas tales como: Altura de planta (AP), ancho de hoja (A), longitud de hoja (L) y número de hojas fueron calculadas con la medición de un flexómetro de 3 m de longitud (PRETUL®, Truper, México). La clasificación de la densidad del estrato herbáceo fue tomada con una cuadrícula metálica de 50 x 50 cm realizando un corte manual superior a 5 cm sobre el suelo. Así mismo, el peso verde del forraje de *L. leucocephala* y del estrato herbáceo fueron pesados en una báscula electrónica con capacidad de 5 kg (ADIR® 1676, Industrias Adir, China). En el caso de las variables estimadas se obtuvieron con el apoyo de las Ecuaciones de la 1 a la 7.

**Altura de planta (AP).** Fue estimada como un promedio de las mediciones tomadas desde la base del suelo hasta el ápice de la planta cada 56 días y se expresó en metros.

**Área foliar (AF).** Fue obtenida a partir de la sumatoria de los resultados generados con la Ecuación 1, tal como lo sugieren Vite et al. (2020) para la especie de *L. leucocephala*:

$$AF = L \times A \times 0.34 \dots\dots\dots Ec. (1)$$

en función del total de hojas de la planta, expresada en  $cm^2 \cdot planta^{-1}$ .

Donde: L = longitud de hoja en cm y A = ancho de hoja en cm.

**Materia Seca de Leucaena (MSL).** El resultado fue derivado de los pesos constantes de muestras de forrajes desecados en estufa de aire forzado a temperatura de 65°C, expresada en porcentaje y de acuerdo con la metodología 953.07 de la Association of Analytical Communities (AOAC) para la determinación de humedad.

**Rendimiento de Materia Verde de Leucaena (RMVL).** Para la integración de esta variable se incluyó el Peso Seco de Leucaena (PSL) el cual fue obtenido de los pesos constantes de las muestras de forraje desecados en estufa de aire forzado a temperatura de 65°C y de la densidad poblacional de planta sobre los  $m^2$ , y extrapolados a hectárea, reportados en  $kg \cdot ha^{-1}$ . El cálculo del RMVL se expresó en la Ecuación 2:

$$RMVL = \frac{PSL \times \text{Densidad poblacional de plantas} / m^2}{1000} \dots\dots\dots Ec. (2)$$

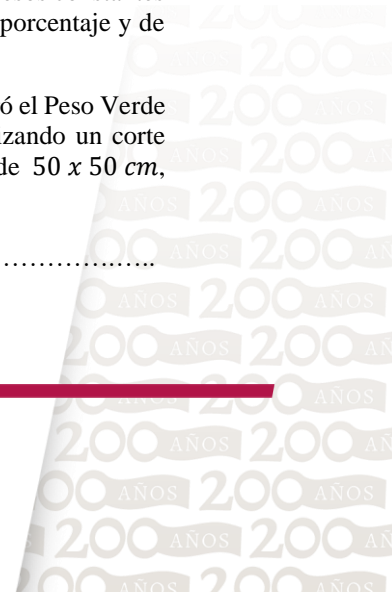
**Rendimiento de Materia Seca de Leucaena (RMSL).** La estimación de esta variable se obtuvo incluyendo la MSL, expresada en  $kg \cdot ha^{-1}$ , a través de la ecuación (3):

$$RMSL = \frac{RMVL \times MSL}{100} \dots\dots\dots Ec. (3)$$

**Materia Seca del estrato Herbáceo (MSHB).** Los datos obtenidos fueron el resultado de los pesos constantes del estrato herbáceo desecados en estufa de aire forzado a temperatura de 65°C, expresada en porcentaje y de acuerdo con la metodología AOAC 953.07, el resultado fue expresado en porcentaje.

**Rendimiento de Materia Verde del estrato Herbáceo (RMVHB).** Para esta variable se integró el Peso Verde Herbáceo (PVHB) el cual fue obtenido del peso de las mediciones tomadas en campo, realizando un corte manual mayor a 5 cm sobre la base del suelo, fue tomada con una cuadrícula metálica de 50 x 50 cm, extrapolada a hectárea y reportada en  $kg \cdot ha^{-1}$ , su estimación se calculó mediante la Ecuación 4:

$$RMVHB = \frac{(PVHB \times 10000) / 0.25}{1000} \dots\dots\dots Ec. (4)$$





**Rendimiento de Materia Seca del estrato Herbáceo (RMSHB).** La estimación de datos se generó con los resultados del RMVHB y de la MSHB mediante la Ecuación 5, expresada en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ :

$$\text{RMSHB} = \frac{\text{RMVHB} \times \text{MSHB}}{100}$$

Ec. (5)

**Rendimiento de Biomasa Verde Total (RBVT).** La construcción de la ecuación incluyó la suma de los datos de RMVL y RMVHB, para su determinación se generó la Ecuación (6) y se reportó en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ :

$$\text{RBVT} = \text{RMVL} + \text{RMVHB}$$

Ec. (6)

**Rendimiento de Materia Seca Total (RMST).** Para inferir esta variable, se realizó la Ecuación (7), expresándola en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ :

$$\text{RMST} = \text{RMSL} + \text{RMSHB}$$

Ec. (7)

### Parámetros nutricionales

Para el caso de las variables correspondientes a las propiedades bromatológicas, tales como Humedad, MS, Cenizas, Proteína, Grasas, Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácida; se obtuvieron muestras de forraje del SSP en cada periodo de cosecha con frecuencias de muestreo de 56 días.

**Humedad (H) y Materia Seca (MS).** Se estimaron utilizando una submuestra de forraje del SSP desecados previamente en estufa de aire forzado a temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$ , de acuerdo con la técnica AOAC 953.07 para la determinación de humedad en porcentaje y su complemento que correspondió a la MS. Se registraron los pesos constantes de las taras utilizadas durante las técnicas gravimétricas, los pesos de la materia fresca obtenidos en campo y los pesos constantes de la materia desecada.

**Cenizas Totales en Base Húmeda (CTBH) y seca (CTBS).** Los datos obtenidos se estimaron con los pesos resultantes de la calcinación de la submuestra contenida en un crisol de porcelana en una mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  por 4 horas de acuerdo con la metodología AOAC 942.05, los diferentes pesos obtenidos fueron expresados en porcentaje.

**Proteína Cruda en Base Seca (PCBS).** El contenido de proteína se realizó siguiendo la metodología AOAC 988.05 y se estimó en función de la normalidad del ácido y mL utilizados de Ácido Clorhídrico (HCl) durante una titulación volumétrica mediante la Ecuación (15), expresada en porcentaje.

**Extracto Etéreo en Base Húmeda (EEBH) y Base Seca (EEBS).** La obtención de esta variable fue siguiendo la metodología AOAC 930.09, los valores fueron expresadas en porcentaje.

**Fibra Cruda en Base Húmeda (FCBS) y en Base Seca (FCBS).** Los datos fueron estimados siguiendo la metodología 989.03 de la AOAC y fueron expresados en porcentaje.

### Análisis estadístico

Todos los parámetros productivos y nutricionales fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA) con un modelo estadístico que incluyó los efectos fijos de Edad (2 y 5 años), Consorcio (Con y Sin Aplicación) y Pendiente (Baja y Alta) como criterio de bloqueo, así como el efecto aleatorio de Estación del año como covariable. Para los factores que resultaron significativos se realizó una prueba de comparación múltiple de medias con Tukey, todos los análisis estadísticos se realizaron en el paquete R Project 4.4.0 y R Studio versión 2024.04.

## Resultados y discusión

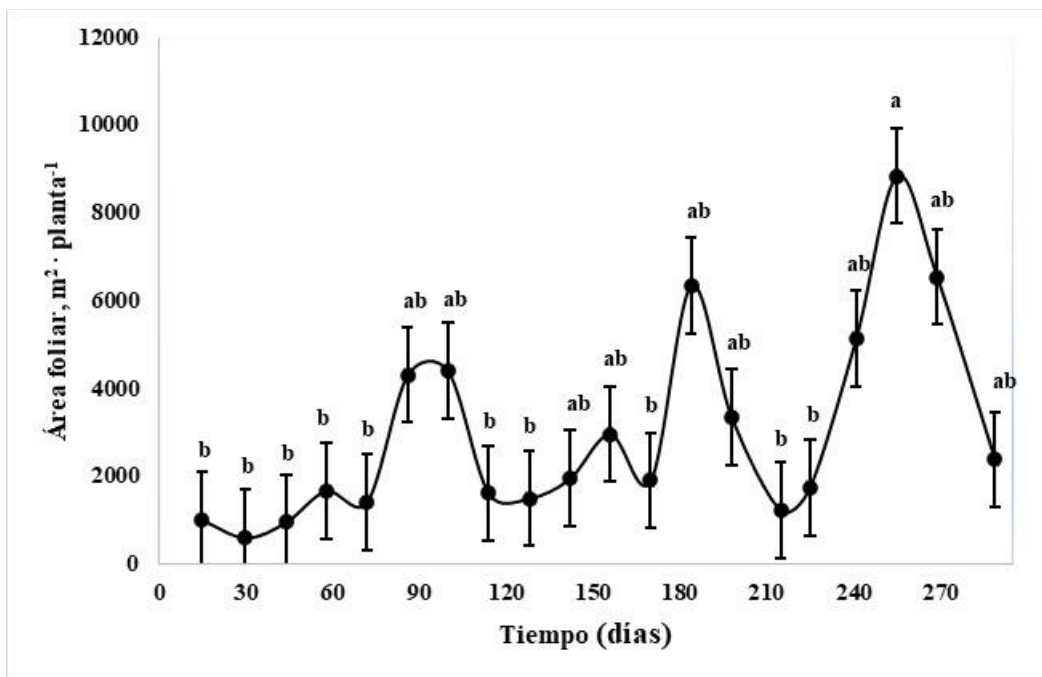
### Parámetros productivos

#### Altura de la planta

Los resultados evaluados para la AP no mostraron diferencias ( $P>0.05$ ) con la aplicación del tratamiento del consorcio de CFN, ni con la pendiente del terreno; contrario a lo observado ( $P=0.0006$ ) para los factores de Periodo evaluado y Edad ( $P<0.0001$ ) que tuvieron efecto sobre esta misma variable, siendo que la altura de la plantación en el periodo OI y de cinco años superaron en 14.2% y 1.9 veces más a la altura del cultivo en PV y de dos años (Tabla 2). Para abordar lo observado; Rojas et al. (2021) refirieron que la altura de *L. leucocephala* en un SSP puede variar dependiendo de la densidad de plantas sembradas en función del desarrollo del cultivo, para ésta investigación se realizó una estimación poblacional obteniendo resultados de 16,700 plantas por hectárea<sup>-1</sup>, ésta cantidad se ajusta a los resultados estudiados por Murgueitio et al. (2016) quienes evaluaron diferentes densidades de siembra en el manejo de SSP teniendo a *L. leucocephala* como estrato arbóreo, en donde se estimó un rango para lograr los usos y beneficios de la FBN que va desde 16,600 hasta 22,000 plantas por hectárea<sup>-1</sup>. Las alturas mínimas y máximas variaron de 0.17 a 0.70 m y de 1.52 a 3.52 m para las plantaciones de dos y cinco años. La mayor altura de la plantación durante el periodo OI fue un efecto de la precipitación acumulada del ciclo anterior (Figura 1), lo cual coincide exactamente con lo reportado por Vite et al. (2020) en un estudio realizado en Tantoyuca a baja densidad con *L. leucocephala*.

#### Área Foliar de la planta

El Área Foliar no fue afectada ( $P>0.05$ ) por la aplicación del consorcio bacteriano ni por la pendiente del terreno, con un promedio de 3,001 cm<sup>2</sup>·planta<sup>-1</sup> (Tabla 2); éstos resultados coinciden con lo reportado por Hernández et al. (2021) quienes estimaron el rendimiento del forraje en función de la densidad de árboles de *L. leucocephala* asociados a gramíneas en donde la mayor interacción fue de 15 a 35 mil plantas·hectárea<sup>-1</sup> (Fassola et al., 2006, Contreras et al. 2020), quienes atribuyeron que la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) puede ser regulada por el estrato arbóreo (intercepción de luz por el follaje); es por ello que Palazzini et al. (2023) afirmaron en estudios similares bajo el mismo arreglo, que la permeabilidad arbórea pudo haber influido en el desarrollo del comportamiento forrajero del SSP. Los factores Edad, Periodo y Tiempo mostraron efectos ( $P<0.0001$ ) sobre ésta misma variable; la plantación de cinco años fue 3.81 veces superior a la de dos años, el periodo OI mostró un incremento en la producción 1.19 veces mayor en comparación al periodo PV; lo mismo sucedió con el Tiempo de muestreo, siendo que en el día 255 hubo un prominente crecimiento 13.48 veces mayor al día 30 (Figura 3). En este sentido, Pachas et al. (2018) determinaron que, factores como la fenología vegetal, arquitectura de la planta, edad, y especie son condicionantes para generar la competencia entre los árboles, así como para interceptar y modular la luz solar.



**Figura 3.** Efecto del tiempo de muestreo en el área foliar de hoja de forraje de *L. leucocephala* en sistema silvopastoril. <sup>a,b</sup>Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

Las máximas acumulaciones de AF se presentaron en los días 184, 255 y 269 pertenecientes al periodo OI (Figura 2), Vite et al. (2020) compararon mediante técnicas no destructivas el AF de procedencias distintas llegando a la conclusión que el estudio de la dinámica de esta variable funciona para estimar el punto máximo de acumulación de biomasa en un área de estudio específica y que puede utilizarse como un criterio de cosecha del sistema.

En la Figura 4 se aprecia el efecto ( $p=0.0103$ ) de la interacción Edad×Periodo sobre el área foliar en sistema silvopastoril, el periodo OI superó 11.1 veces el área foliar al de PV en el cultivo de dos años, en tanto que, el área foliar de PV superó en 1.1 veces al de OI en el cultivo de cinco años, evidenciando que el cultivo joven de dos años responde mejor a la precipitación acumulada y el cultivo adulto de cinco años responde mejor a las bajas precipitaciones. La interacción entre los factores Edad×Periodo de esta investigación es similar a la interacción presentada por Astúa et al. (2021), quienes obtuvieron un efecto positivo en la relación Edad×Nivel de fertilización; en ambos estudios, se puede observar un aumento en la biomasa al incrementar la edad del cultivo, sin embargo, el crecimiento del AF disminuye cerca del día 40; por otro lado, la interacción que se observa en la Figura 4, además del efecto de la precipitación antes descrita, también se suma el efecto de una mayor radiación solar durante la sequía, y por tanto, un mejor aprovechamiento en la intercepción de luz así como un equilibrio en los procesos de fotosíntesis, balance energético y asignación de biomasa (Jaime et al., 2023).

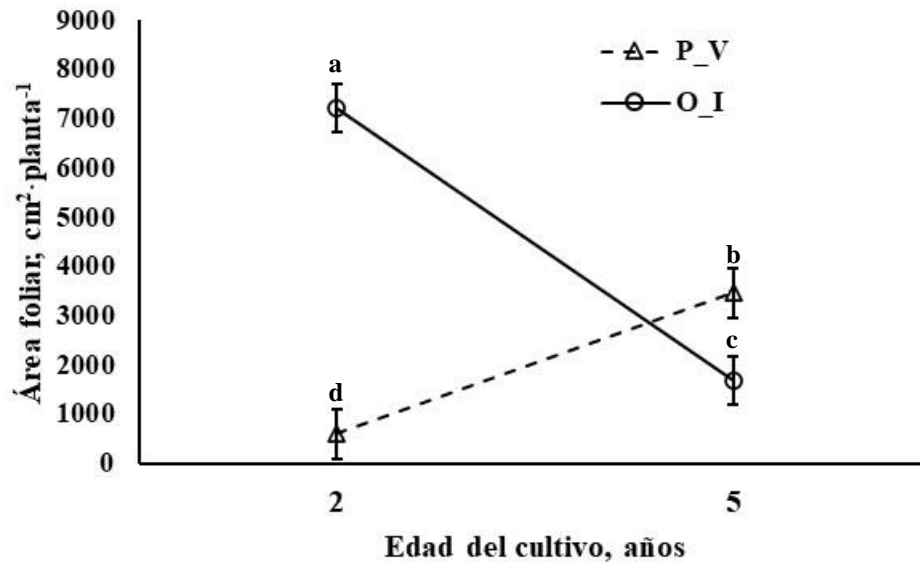
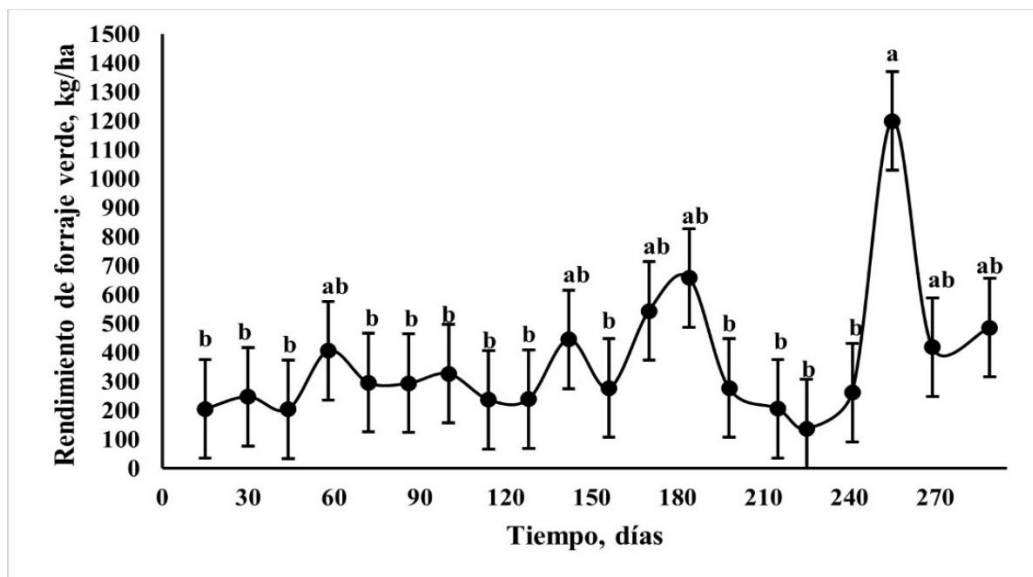


Figura 4. Efecto de la interacción Edad×Periodo sobre el área foliar ( $\text{cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$ ) en sistema silvopastoril.  
<sup>a,b,c,d</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

#### Rendimiento de Materia Verde de *L. leucocephala*

Los resultados obtenidos para esta variable no mostraron diferencias ( $P > 0.05$ ) en los cultivos que recibieron aplicación de cianobacterias, lo mismo ocurrió para el Periodo y el Bloque. A diferencia de estos factores, la Edad evidenció efecto ( $P < 0.0001$ ) sobre el RMVL; la productividad del forraje en el SSP alcanzó valores mínimos y máximos de 178 a 559  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para los sembradíos de dos y cinco años de manera conjunta (Tabla 2); asimismo, hubo una tendencia ( $p = 0.0816$ ) de que el RMVL fuera 60% superior durante OI que en PV para el cultivo de cinco años; los rendimientos observados fueron una respuesta al corte y frecuencia del mismo, el cultivo de cinco años logró una ganancia progresiva 2.13 veces mayor al cultivo de dos años en la producción de biomasa verde, este incremento fue en respuesta a la emisión de follaje nuevo y aparición de nuevos tallos; al respecto, Hernández *et al.* (2023) realizaron intervalos de corte muy similares en época de lluvias (42 y 50 días) para facilitar el rebrote y producción de follaje de *L. leucocephala* y *M. maximus* cv. Tanzania, Fajardo *et al.* (2018) reportaron que las plantas tienden a sintetizar primero los azúcares, macro y micronutrientes en el crecimiento como estrategia de sobrevivencia, por lo que la competencia por el espacio disminuye aumentando la ganancia de crecimiento radicular (Hernández *et al.*, 2020).



**Figura 5.** Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia verde de forraje de *L. leucocephala* en sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

Si bien la aplicación del consorcio de CFN no presentó diferencias ( $P > 0.05$ ), sí promovió el aumento de follaje en la biomasa verde incrementando la solubilidad de fosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) que está involucrado en el crecimiento, la floración y en los procesos de metabolismo energético celular, fotosíntesis, glucólisis, entre otros (Corrales et al., 2014); el rendimiento más elevado fue de  $1,200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  en el día 255, sin embargo, el promedio fue de  $369 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Figura 5); la interacción entre la gramínea y la planta forrajera incrementó la producción de materia verde en el periodo OI que es asociado al periodo de lluvias, dicha biomasa se mantendrá hasta la temporada de sequías, donde el rendimiento de los SSP han demostrado la capacidad productiva de éstos sistemas para asegurar la producción de alimento para el ganado (López et al., 2019b). Por otro lado, el incremento de biomasa verde de los SSP tiene el potencial para aumentar reservorios de Carbono en el estrato herbáceo del sistema y favorecer las características fisicoquímicas del suelo fijando materia orgánica (López et al., 2019a).

#### Rendimiento de Materia Seca de *L. leucocephala*

La biofertilización con el consorcio y Bloque no mostraron efectos ( $P > 0.05$ ) en la productividad de esta variable (Tabla 2), el RMSL ( $178 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) se encontró dentro del rango asociado a la FBN en suelos agrícolas; Pincay et al. (2020) realizaron estimaciones similares con bacterias diazotróficas del género *Azotobacter*, por su parte Valles y Cadish (2010) obtuvieron valores de rendimiento menores con  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  en suelos Franco - Arcillosos muy similares a los obtenidos en esta investigación. Sin embargo, hubo una tendencia ( $p = 0.0800$ ) de que el RMSL fuera 1.15 veces superior durante OI que en PV para el cultivo de cinco años. Asimismo, el RMSL del Periodo OI superó ( $p = 0.0604$ ) en 81.2% al rendimiento de PV, como respuesta a la precipitación acumulada descrita anteriormente. La plantación de cinco años evidenció un rendimiento de 2.1 veces mayor ( $p = 0.0015$ ) que la de dos años bajo una frecuencia de corte de 56 días, estos resultados coinciden con Gonzales et al. (2018) quienes reportaron el resultado de una biofertilización con *Azotobacter* – *Rhizobium* en *Lupinus mutabilis* y aprobaron el uso de la FBN como sustitución de la fertilización inorgánica al encontrar mejoras en las plantas y en los suelos agrícolas donde se realizó la aplicación. Sin embargo, de lo reportado para rendimiento en SSP, Hernández et al. (2020) evaluaron una asociación de *L. leucocephala* y *M. maximus* cv. *Tanzania* sometido a diferentes lapsos de descanso (20, 30, 40 y 50 días) en los cuales los rendimientos resultaron más bajos que en el presente estudio.



El factor Tiempo influyó ( $p=0.0300$ ) sobre el RMSL (Figura 6), el rendimiento más elevado fue de  $767 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  en el día 255, momento que coincide con la precipitación elevada en el periodo OI.

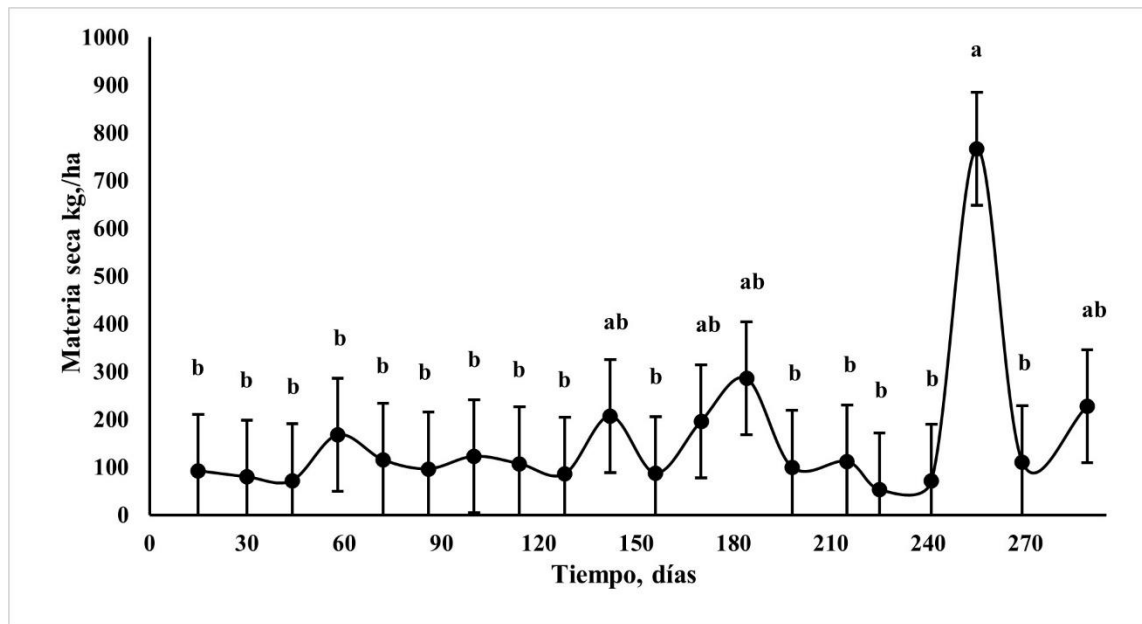


Figura 6. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia seca de *L. leucocephala* en sistema silvopastoral. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

### Rendimiento de Materia Verde Herbácea

Los resultados evaluados para el estrato herbáceo no mostraron diferencias ( $P > 0.05$ ) con la aplicación del consorcio ni con el factor Pendiente como criterio de bloqueo, estos resultados refieren que el estrato herbáceo pudo haber sido afectado por una competencia constante en tiempo y espacio por los insumos naturales de producción, así como por la densidad arbórea, altura de planta y hora en que se realizó el muestreo (Ashworth et al., 2018, Contreras et al. 2020).

Los factores Edad, Periodo y Tiempo mostraron efecto ( $P < 0.0001$ ) sobre esta misma variable; el RMVHB de la plantación de cinco años de edad fue 1.02 veces superior en comparación con el rendimiento de la de dos años, lo mismo fue para el rendimiento registrado en el factor Periodo, siendo OI 1.06 veces más productivo que PV. Las especies herbáceas que se obtuvieron con mayor presencia y que integran la biomasa bajo el dosel arbóreo del SSP se muestran en la Tabla 1; estos resultados se asemejan a lo reportado bajo el mismo arreglo agroecológico y método de pastoreo que fue Voisin por Espinosa et al. (2020), quienes identificaron las mismas especies y familias de herbáceas predominantes.

Tabla 1. Especies del estrato herbáceo obtenidas en sistema silvopastoral.

Hábito	Nombre común	Nombre científico	Familia
Hoja ancha	Mozote	<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae
	Malva	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae
	Olivo	<i>Croon reflexifolius</i> Kunth	Euphorbiaceae
	Pega pega	<i>Desmodium incanum</i> (Sw.) DC.	Fabaceae
	Guásima	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae
	Cornezuelo	<i>Acacia cornigera</i> (L.) Willd	Fabaceae
Hoja angosta	Pasto Miyagui	<i>Megathyrsus maximus</i> Jacq. cv Miyagui	Poaceae
	Pasto Estrella	<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst	Poaceae
	Pasto Carretero	<i>Bothriochloa pertusa</i> (L.) A. Camus	Poaceae



La máxima acumulación de biomasa verde se presentó entre el cuarto y el sexto muestreo ( $P < 0.001$ ), una vez iniciada la época de lluvias con un rendimiento de  $4,310 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Figura 7), éste comportamiento fue similar al reportado por Contreras et al. (2020) quienes registraron incrementos en el RMVHB durante el sexto muestreo, en un aproximado de 72 días; la variabilidad en RMVHB entre el inicio y fin de muestreo varió de 160 a  $4,120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  y de 560 a  $10,360 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  para los cultivos de dos y cinco años.

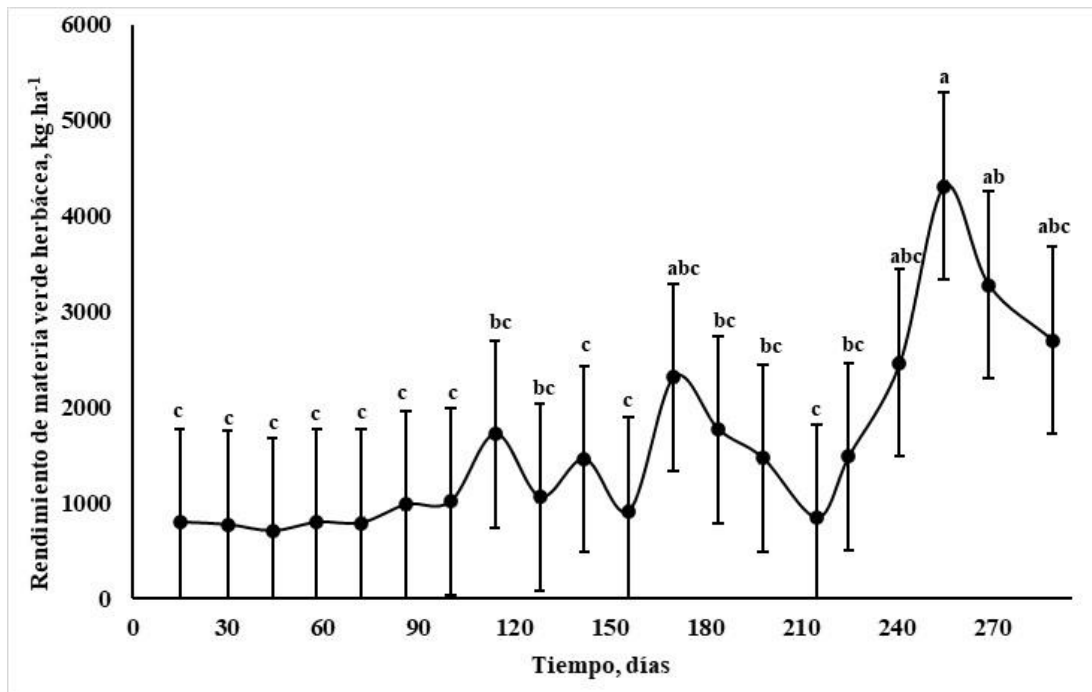


Figura 7. Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia verde herbácea en sistema silvopastoril.  
<sup>a,b,c</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

En los SSP, los lapsos de descanso para el rebrote, así como la cantidad de forraje residual después de la defoliación determinarán el rendimiento de la biomasa herbácea (Ramírez et al., 2010); en la Figura 8 se presenta la interacción Edad×Periodo sobre esta variable, en la cual el RMVH en OI y en el de dos años duplicaron a la PV y a los cinco años, siendo la diferencia más marcada para OI a los cinco años que fue 3.1 veces superior a PV a los dos años; aunque la productividad fue superior a la presentada por Jarillo et al. (2023), quienes también encontraron una interacción Grupo×Edad del rebrote en producción de forraje *Urochloa*, coincidiendo con este estudio en que la producción de materia verde aumentó con la edad de rebrote (Figura 8); el aumento en el rendimiento herbáceo puede relacionarse no solo a las precipitaciones acumuladas durante todo el año, sino a la mejora en el microclima originado por el SSP y a una mayor disponibilidad en la cantidad de humedad, éste tipo de similitudes fueron obtenidas en áreas similares en el estado de Veracruz por Martínez et al. (2020).

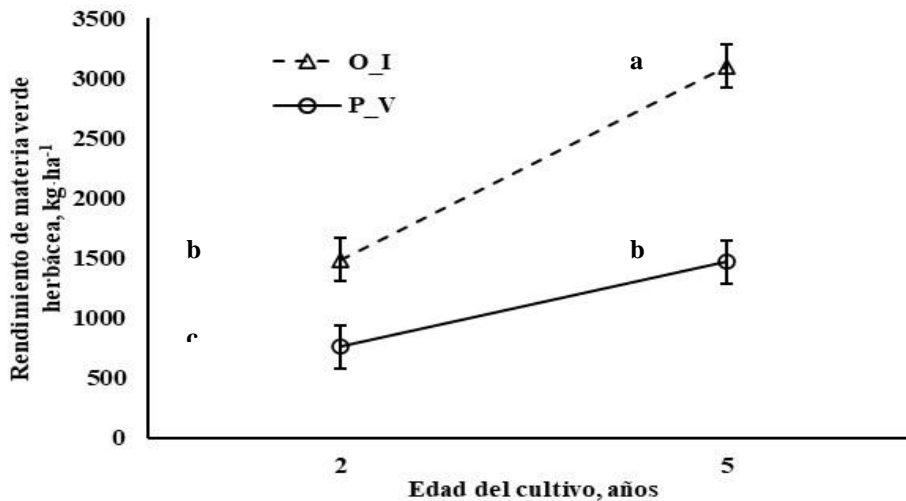
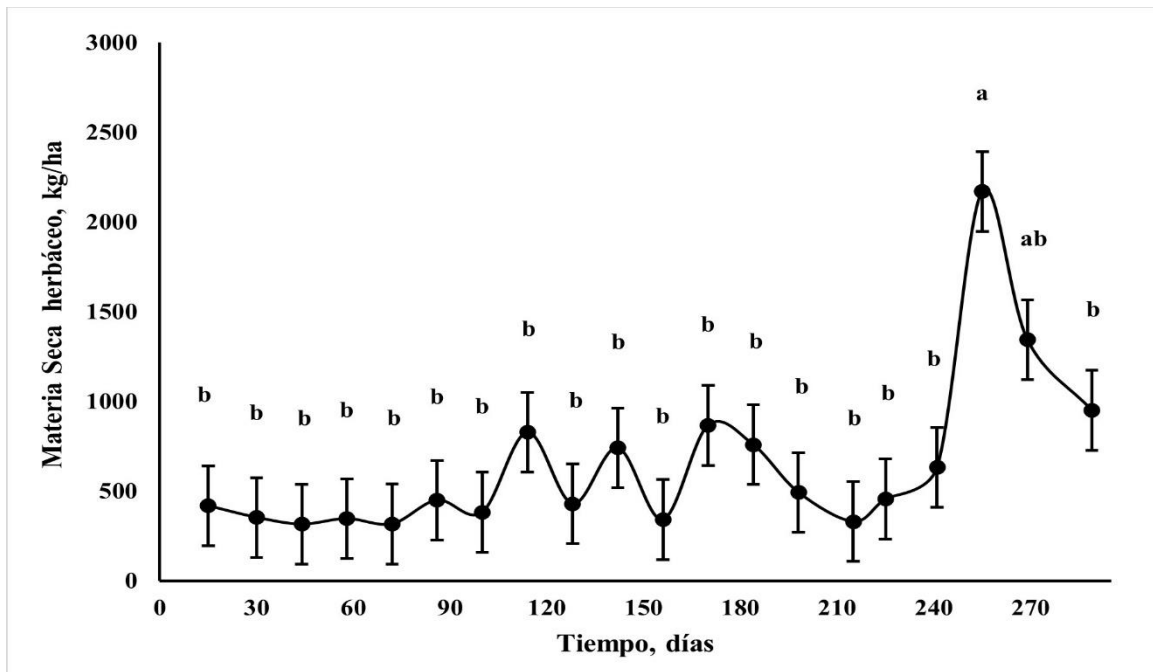


Figura 8. Efecto de la interacción Edad×Periodo sobre el rendimiento de materia verde herbácea en sistema silvopastoril. <sup>a,b,c</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

#### Rendimiento de Materia Seca Herbácea

La productividad del estrato herbáceo no fue afectada ( $P > 0.05$ ) por la aplicación del consorcio y ni por la pendiente como efecto de bloqueo, pero si ( $P < 0.0001$ ) por la Edad, el Periodo y el Tiempo (Tabla 2). El cultivo de cinco años superó ( $P < 0.0001$ ) en 93.4% la productividad en términos de RMSHB que el cultivo de dos años. Asimismo, durante el periodo OI se produjo 85.1% más ( $P < 0.0001$ ) RMSHB que en PV. La existencia de biomasa herbácea se estudió en todas las parcelas antes de cada periodo de pastura, al igual que Espinosa et al. (2020) quienes aplicaron el método Voisin en SSP con el objetivo de alcanzar la recuperación vegetal a través de la floración de herbáceas y pastos dominantes de mayor aceptación por el animal, como resultado se obtuvo una interacción entre los microsítios y las plantas herbáceas, las cuales generaron diferentes tiempos de recuperación en las parcelas Azuara et al. (2018). Los diferentes tiempos de muestreo y condiciones de temporal condicionaron el rendimiento de esta variable, tal como se puede ver en la Figura 6, con un rendimiento máximo a los 255 días debido al patrón de precipitación explicado anteriormente.

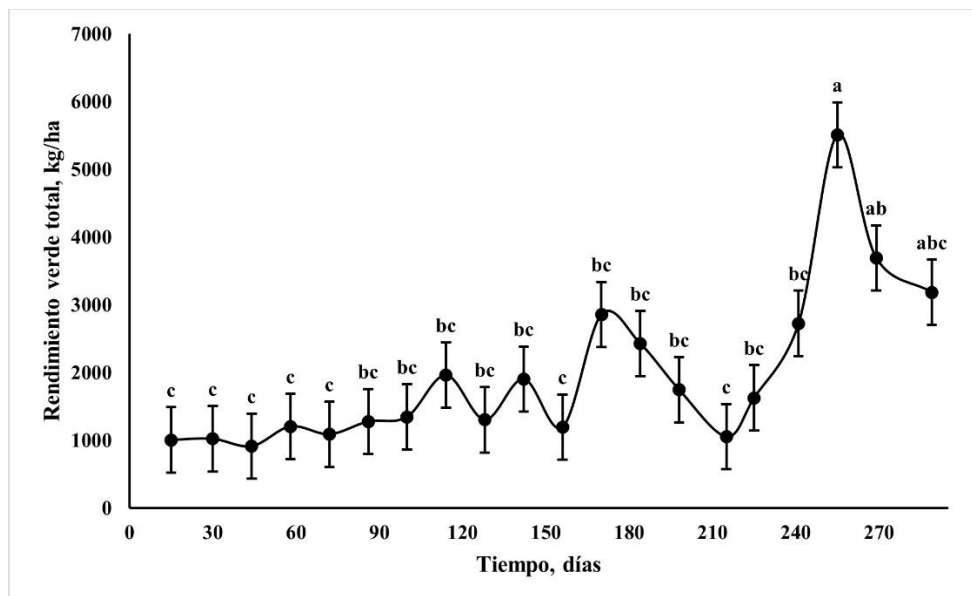
A pesar de tener más observaciones en la medición del Periodo PV en comparación a OI, el rendimiento de esta variable alcanzó promedios mínimos y máximos de 450 y 1,231  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Figura 9), éste incremento en la época invernal se justifica con lo reportado por Castillo y Jarillo (2020) quienes encontraron que la utilidad de los forrajes y pastos bajo niveles medios de sombra, mejora la temperatura, humedad y materia orgánica en el suelo, incrementando la biota edáfica, la cual potencializará la cantidad de nutrientes para las gramíneas bajo la sombra del dosel arbóreo.



**Figura 9.** Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia seca herbácea en sistema silvopastoril.  
<sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

### Rendimiento de Biomasa Verde Total (RBVT)

El RBVT no mostró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) con la aplicación del consorcio bacteriano y ni por la Pendiente del terreno. Aunque, si se evidenció efecto ( $P < 0.0001$ ) sobre los factores: Edad, Periodo, Tiempo de muestreo y la interacción de la Edad por el Periodo. Las plantaciones de cinco años de edad mostraron un rendimiento 1.17 veces mayor a las de dos años, obteniendo como promedio de manera conjunta una producción de  $1,953 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; el RBVT en el Periodo OI fue superior hasta en un 92.8% respecto a PV, con cifras mínimas y máximas de  $1,425$  y  $2,747 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; éstos mismos valores se asocian a los resultados del tiempo de muestreo (Figura 10), debido a que desde el día 15 al 184 (PV) se mantuvo un rendimiento uniforme de manera conjunta de  $1,406 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , mientras que del día 185 al 289 (OI) el rendimiento experimentó una alza de  $3,595 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , principalmente debido al patrón de precipitación observado anteriormente.



**Figura 10.** Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de biomasa verde total en sistema silvopastoril. <sup>a, b, c</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

El RBVT máximo de ambas edades de cultivo en época de lluvias coincide con los resultados obtenidos por Hernández et al. (2020), quienes estimaron la productividad de la Biomasa en 5,510 y 5,300 kg·ha<sup>-1</sup> en un SSP integrado por *M. maximus* cv. Tanzania y *L. leucocephala* bajo un intervalo de 50 días de descanso; para la temporada de sequía los resultados nuevamente se asemejaron; esta investigación reportó 1,425 vs 1,610 kg·ha<sup>-1</sup> por parte de los autores antes mencionados. El crecimiento de biomasa verde estuvo condicionado por el tiempo de descanso que permitió una mayor acumulación y transferencia de nutrientes, así como el mejoramiento del suelo y del microclima Hernández et al. (2023), así mismo, Rojas et al. (2021) refieren que la mayor cantidad de rebrotes en la biomasa verde se atribuyó a una menor densidad de siembra, por consiguiente, se generó una disminución en la competencia inter específica de nutrientes, refracción solar y agua por planta, en contraste a ello, a mayor densidad de siembra se obtuvieron los mismos recursos en menor cantidad. La influencia que tuvo el consorcio cianobacteriano sobre el rendimiento de biomasa verde se debió a la FBN, gracias a la actividad que ejerció el nitrógeno amoniacal sobre el forraje, en donde la fijación de este elemento y la estimulación de fitohormonas (principalmente citoquininas) actuaron como precursoras del crecimiento radicular y de biomasa; al respecto, Guilcapí et al. (2019) mencionaron que lo anterior se debe a que las fitohormonas promueven el crecimiento de tejidos meristemáticos, en los ápices radiculares, por tanto amplían el área basal de la planta.

El RMVT en OI y en el cultivo de dos años duplicaron a lo obtenido en PV y en el cultivo de cinco años, siendo la diferencia más marcada para OI a los cinco años que fue 3.1 veces superior a PV a los dos años (Figura 11). En este sentido, Garay et al. (2018) refieren que el rendimiento productivo que obtiene cualquier especie forrajera dependerá de la edad de la planta, el periodo climático, así como el manejo agronómico al que esté sometido. Sin embargo, la producción de biomasa puede presentar diferentes tipos de variaciones en función de la interacción entre las especies de plantas y de la captación de nutrientes del suelo, principalmente Fósforo (P), valores referentes al periodo y a la frecuencia de corte, así como de especies perennes utilizadas como *L. leucocephala*. Los rendimientos obtenidos coinciden con los reportados por Aguirre et al. (2012), quienes argumentan que la producción vegetal está aún más asociada a plantas que realizan simbiosis con microorganismos fijadores de nitrógeno, los cuales absorben P del suelo de manera más eficiente que plantas que no son colonizadas y, por lo tanto, su efecto puede verse reflejado en el crecimiento de follaje y en el transporte de P (Aguirre et al., 2018). Por último, los pastos tropicales, que tienen la particularidad de realizar la actividad fotosintética vía C<sub>4</sub>, pueden realizar una alta tasa de fotosíntesis, por lo cual, cuentan con la capacidad de producir grandes volúmenes de forraje (Hernández et al., 2023); la respuesta fisiológica del SSP

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024



evidenció, que ambos estratos de edad tuvieron un mejor rendimiento durante el periodo de lluvias, mientras que en el periodo de estiaje los cultivos mostraron menor rendimiento.

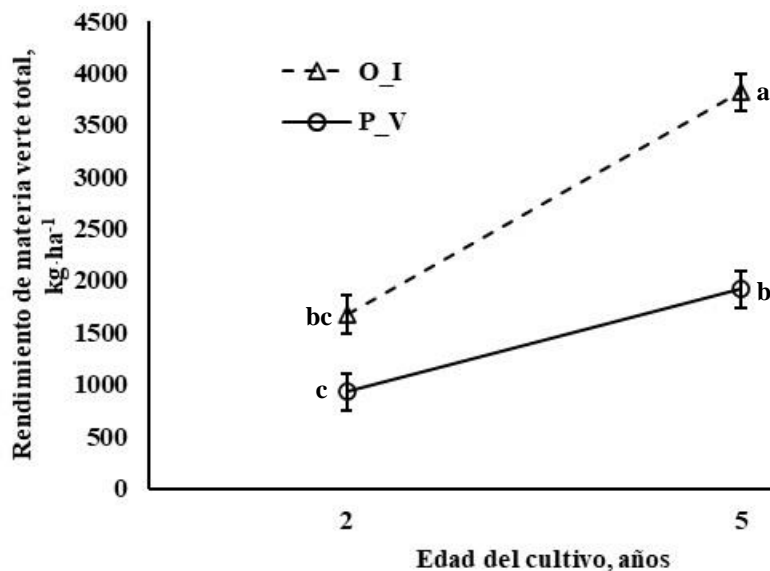
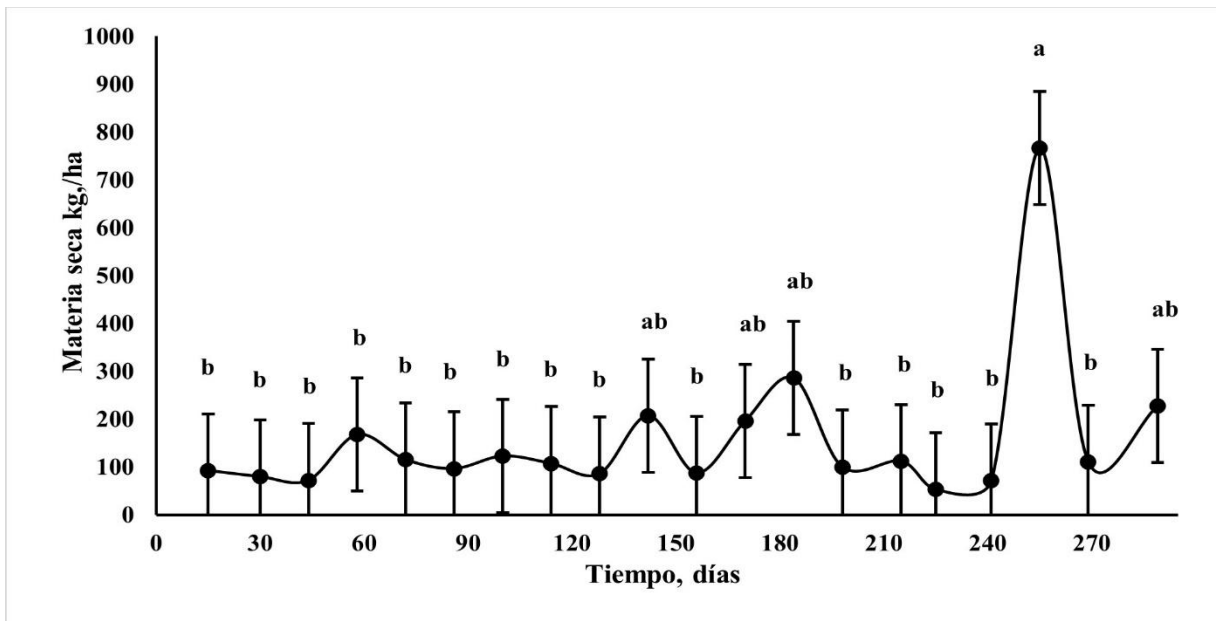


Figura 11. Efecto de la interacción Edad×Periodo sobre el rendimiento de materia verde total en sistema silvopastoril. <sup>a,b,c</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey)

### Rendimiento de Materia Seca Total (RMST)

Como puede observarse en la Tabla 2, el tratamiento de CFN y la Pendiente del terreno no afectaron ( $P > 0.05$ ) al RMST en el SSP. En tanto, el Factor Edad influyó ( $P < 0.01$ ) sobre el RMST, siendo que el SSP de 5 años rindió 1.11 veces más ( $P < 0.0001$ ) forraje en comparación con el cultivo de 2 años; también se encontró significancia ( $P < 0.01$ ) para el factor Periodo, logrando en OI una productividad forrajera de 84.3% superior a la de PV; también, el Tiempo de muestreo afectó ( $P < 0.0001$ ) a esta variable, logrando un máximo de 2,937  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  en el día 255 (Figura 12). Asimismo, hubo una tendencia ( $p = 0.0930$ ) de que el RMST fuera 83% superior durante OI que en PV para el cultivo de cinco años





**Figura 12.** Efecto del tiempo de muestreo en el rendimiento de materia seca total en sistema silvopastoril. <sup>a, b</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

El RMST obtenido en esta investigación fue superior a las estimaciones reportadas por Enríquez et al. (2020), quienes estudiaron la asociación entre *Leucaena* con pasto Estrella obteniendo una producción de 231 kg·ha<sup>-1</sup>; así como también fueron superiores a los resultados obtenidos por Gómez et al. (2019), reportando un rendimiento de 1,337 kg·ha<sup>-1</sup> en un SSP con *L. leucocephala* asociado con *Panicum Maximum* cv Tanzania, además, estos autores realizaron la inoculación de la semilla de *Leucaena* con *Azospirillum* y *Micorriza*, los cuales cumplieron funciones de fijación de nitrógeno y absorción de nutrientes; sin embargo, los valores obtenidos resultaron menores a los evidenciados por Roque et al. (2022) en donde se implementaron diversos SSP con pasto *B. brizantha* y franjas de *L. leucocephala*, obteniendo en promedio rendimientos de 6,000 kg·ha<sup>-1</sup> con un 20% de incidencia de malezas forrajeras. Al respecto, Sánchez et al. (2012) concluyeron que generalmente las malezas de hoja angosta tienden a ser las más dominantes en SSP, en tanto, Galvão et al. (2011) mencionaron que el nivel del rendimiento de esta variable en comparación con otros SSP resultó ser más bajo, esto puede relacionarse a la densidad arbórea elegida por el productor, mientras que Hernández et al. (2021) atribuyen este resultado a la distancia entre franjas o a la competencia entre árboles. Asimismo, Hernández et al. (2023) indicaron que el estrato arbóreo puede auto regular la cantidad de luz que penetra bajo su dosel a través de la poda, eliminando las ramas más antiguas y que pese a ello, Castillo y Jarillo (2020) informaron que los sistemas pecuarios tropicales han optado por emplear árboles semi o caducifolios, y que ésta serie de factores intervinieron en la respuesta al rendimiento, lo que condicionó el rendimiento del SSP.



Tabla 2. Medias y significancias de variables productivas de un sistema silvopastoril.

Factor	AP	AF	RMVL	RMSL	RMVHB	RMSHB	RBVT	RMST
Consortio (C)								
Sin	1.40 <sup>a</sup>	2880 <sup>a</sup>	341.67 <sup>a</sup>	137.8 <sup>a</sup>	1605 <sup>a</sup>	662 <sup>a</sup>	1946 <sup>a</sup>	800 <sup>a</sup>
Con	1.43 <sup>a</sup>	3121 <sup>a</sup>	395.40 <sup>a</sup>	177.8 <sup>a</sup>	1566 <sup>a</sup>	629 <sup>a</sup>	1961 <sup>a</sup>	807 <sup>a</sup>
EEM	0.03	354	50.09	35.4	98	57	113	70
Edad (E)								
2	0.73 <sup>a</sup>	1034 <sup>b</sup>	178.0 <sup>b</sup>	77.1 <sup>b</sup>	1051 <sup>b</sup>	440 <sup>b</sup>	1229 <sup>b</sup>	517 <sup>b</sup>
5	2.10 <sup>b</sup>	4968 <sup>a</sup>	559.0 <sup>a</sup>	238.5 <sup>a</sup>	2119 <sup>a</sup>	851 <sup>a</sup>	2678 <sup>a</sup>	1090 <sup>a</sup>
EEM	0.03	354	50.1	35.4	98	57	113	70
Periodo (P)								
PV	1.34 <sup>b</sup>	2032 <sup>b</sup>	310.4 <sup>b</sup>	119.1 <sup>b</sup>	1114 <sup>b</sup>	482 <sup>b</sup>	1425 <sup>b</sup>	601 <sup>b</sup>
OI	1.53 <sup>a</sup>	4454 <sup>a</sup>	455.8 <sup>a</sup>	215.8 <sup>a</sup>	2291 <sup>a</sup>	892 <sup>a</sup>	2747 <sup>a</sup>	1107 <sup>a</sup>
EEM	0.03	354	50.1	35.4	98	57	113	70
Bloque (B)								
Alta	1.49 <sup>a</sup>	3035 <sup>a</sup>	370.4 <sup>a</sup>	153.5 <sup>a</sup>	1532 <sup>a</sup>	601 <sup>a</sup>	1903 <sup>a</sup>	754 <sup>a</sup>
Baja	1.35 <sup>b</sup>	2966 <sup>a</sup>	366.7 <sup>a</sup>	162.1 <sup>a</sup>	1638 <sup>a</sup>	691 <sup>a</sup>	2005 <sup>a</sup>	853 <sup>a</sup>
EEM	0.03	254	50.1	35.4	98	57	113	70
Significancias								
E	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0015	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
C	0.5900	0.6300	0.4500	0.4300	0.7800	0.6820	0.9254	0.9430
P	0.0006	<0.0001	0.0470	0.0604	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
B	0.0092	0.8900	0.9600	0.8600	0.4477	0.2640	0.5253	0.3200
Tiempo	0.0600	<0.0001	0.0090	0.0300	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
E*C	0.2011	0.9800	0.5912	0.4800	0.3260	0.1840	0.5390	0.4690
E*P	0.8400	0.0103	0.0816	0.0800	0.0017	0.3320	<0.0001	0.0930
C*P	0.1400	0.9600	0.9800	0.9000	0.9706	0.4530	0.9674	0.5950
E*B	0.1038	0.7000	0.8800	0.8100	0.5133	0.8230	0.5276	0.9510
E*C*P	0.3800	0.4500	0.5900	0.8300	0.5926	0.3810	0.4807	0.4150

\*AP = Altura de planta, cm; AF = Área foliar, cm<sup>2</sup>/ planta; RMVL = Rendimiento materia verde de Leucaena, kg·ha<sup>-1</sup>, RMSL = Rendimiento materia seca de Leucaena, kg·ha<sup>-1</sup>, RMVHB = Rendimiento materia verde herbácea, kg·ha<sup>-1</sup>, RMSHB = Rendimiento de materia seca herbácea, kg·ha<sup>-1</sup>, RBVT = Rendimiento biomasa verde total, kg·ha<sup>-1</sup>, RMST = Rendimiento materia seca total, kg·ha<sup>-1</sup>

<sup>a,b</sup>Medias con la misma literal en columnas no son significativas (P > 0.05; Tukey).

### Parámetros nutricionales

#### Extracto Etéreo

El consorcio de CFN no afectó (P>0.05) sobre el contenido de extracto etéreo del forraje, aunque, los potreros con aplicación del tratamiento fueron numéricamente 30% superiores a los que fungieron como testigo, éste también fue el caso para la Edad, la cual no intervino (P>0.05) sobre la composición nutrimental del SSP; a pesar de ellos, el promedio de EE en este sistema mostró valores que resultaron menores (3.61 vs 5.82%) a los obtenidos por Pérez et al. (2022) o Pérez et al. (2023), quienes implementaron *L. leucocephala* como especie arbórea forrajera en un SSP; así mismo, los Bloques ubicados en pendiente baja registraron numéricamente una

2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024





concentración de 42% superior en esta misma variable con respecto a pendiente alta (Tabla 3), sin mostrar diferencias ( $P>0.05$ ). Por lo que se refiere al Periodo, el EE si mostró afectación ( $P<0.05$ ), ya que se registró un alza en PV, siendo hasta 3.8 veces mayor que en OI; presentando valores máximos y mínimos de 6.05 a 1.27%; el promedio obtenido de este sistema fue de 3.7%, éste fue mayor a los reportados por Araiza et al. (2020); teniendo en cuenta que los autores antes mencionados evaluaron individualmente a *L. leucocephala* y en esta investigación se evaluó la composición nutrimental del SSP.

### Proteína Cruda

La biomasa del consorcio de CFN no afectó ( $P>0.05$ ) sobre la PC del forraje; caso contrario sucedió con la Edad de los estratos de forraje, donde esta variable si fue afectada ( $P=0.0087$ ); las plantas de cinco años de edad evidenciaron un contenido 69% mayor de PC en comparación con las de dos años de edad, para esta variable se mostraron valores máximos y mínimos de 25 y 15%; éstos valores contrastan con lo referido por Romero et al. (2020), quienes argumentaron que a medida en que los forrajes crecen conforme a su edad, también lo hacen el estado vegetativo y nutricional del mismo, disminuyendo el nivel de proteína, sin embargo, pueden existir cambios a nivel morfo y fenológico en cada especie forrajera, los cuales generan mecanismos de adaptación como el desarrollo de hojas más largas y menos gruesas para una mejor obtención fotosintética y disminuir la tasa de respiración. En cambio, el Periodo no afectó ( $P>0.05$ ) sobre la PC de éste SSP, presentando una tendencia a incrementarse en 30% con valores máximos y mínimos de 23 y 17% (Tabla 3), éstos valores resultaron superiores ( $>7.5\%$ ) a los obtenidos por Pérez et al. (2022) o Pérez et al. (2023), quienes indican que la calidad nutricional de los árboles forrajeros como *L. leucocephala* no se ven afectados en gran parte por los cambios estacionales, a diferencia de los sistemas tradicionales (monocultivo) que reducen su calidad nutritiva durante las sequías; la pendiente tampoco influyó ( $P>0.05$ ) sobre ésta variable.

### Fibra Detergente Neutro

El consorcio de CFN no intervino ( $P>0.05$ ) sobre ésta variable, aunque numéricamente los potreros sin aplicación de cianobacterias demostraron ser mayores en un 18% en comparación a los estratos donde hubo aplicación, sin embargo, el promedio de FDN presente en el SSP fue de 54%; éstos valores resultan menores a los presentados por Martínez et al. (2019), quienes evaluaron *L. leucocephala* y diferentes gramíneas en diferentes arreglos como Árboles Dispersos en Potreros (ADP) y Pastura en callejones (Pc), así como en monocultivo tradicional; la Edad del SSP tampoco afectó ( $P>0.05$ ) sobre esta variable; aunque el comportamiento en las parcelas de dos años de edad fue numéricamente superior en un 20% a los de cinco años, evidenciando valores máximos y mínimos de 58 y 49%; tampoco la pendiente influyó ( $P>0.05$ ) sobre esta variable, con solo una variación numérica del 13% entre las pendientes alta y baja (Tabla 3).

También puede observarse en la Tabla 3 que el Periodo afectó ( $P<0.05$ ) sobre la FDN; ya que durante OI la composición nutrimental evidenció una superioridad ( $P=0.0023$ ) del 75% en comparación a PV, con valores máximos y mínimos de 68 y 39%; de igual modo, la interacción entre la Edad con el Periodo mostró efecto ( $P=0.0300$ ) sobre esta variable; éstos valores resultan menores a los presentados por Santiago et al. (2016), quienes evaluaron un SPP de *L. leucocephala* asociado con pasto Estrella en un lapso de 56 días de rebrote en época de lluvias, similar a lo establecido en esta investigación; los valores en aumento de PC durante las sequías y el aumento de FDN y FDA en época de lluvias (OI) sugiere que la ausencia de agua en el sistema, retarda la madurez fisiológica, por lo tanto, al existir mayor crecimiento también crece la demanda de metabolitos de contenido celular formando tejido estructural en la planta (Martínez et al., 2016), con respecto al uso de CFN como tratamiento sobre forraje, éste se puede relacionar al aumento de fibra y la disminución de proteína durante el periodo OI ya que el decremento en la producción de citoquinas inducen a una degradación de proteínas en las hojas Ramírez (2011), a través de la liberación de compuestos nitrogenados como aminoácidos y hormonas depositados en el floema, éstos son reincorporados al sistema interno de la planta, los cuales podrán participar en la regulación y desarrollo en la respuesta al ataque de patógenos presentes en el cultivo Zúñiga et al. (2017); es así, que con la implementación de distintos tipos de arreglos de SSP se puede ofrecer una mayor oferta forrajera bajo diferentes acomodos y estratos, desde plantas leñosas perennes (árboles y/o arbustivas), leguminosas (rastreras, arbustivas) y gramíneas, que a su vez proporcionan mayores aportes nutricionales comparado con sistemas convencionales (Argüello et al., 2019); es por ello que es de vital importancia para los



productores identificar el plan de alimentación más acertado para los animales, ya que la ingesta de alimentos es la principal fuente para obtener los diferentes nutrientes que permiten llenar los requerimientos de mantenimiento y producción (Osorio et al., 2024), tales como proteínas, lípidos, vitaminas y carbohidratos, de manera que éstos últimos sean consumidos por el animal en menor cantidad pero con suficiente proteína (Martínez et al., 2019), es por ello que los requerimientos nutricionales permisibles de fibra detergente neutro en bovinos según National Research Council (2001) deben de estar en un rango de 25-33%, cantidad óptima para que los carbohidratos estructurales estén en balance así como la funcionalidad del rumen, pese a ello, la utilización de *L. leucocephala* como estrato arbóreo se clasifica como un forraje voluminoso que podría condicionar la degradación eficiente del rumen, lo cual limitaría el rendimiento del animal (Vite et al., 2019); altos niveles de fibra como los obtenidos en esta investigación se pueden relacionar a diferentes factores como dietas fibrosas (pastos maduros o semillados) durante el ramoneo donde intervienen factores como la edad del forraje o gramínea, frecuencia de corte (estado avanzado o tardío), además, en las zonas tropicales las altas temperaturas incrementan la lignificación de los tejidos vegetales trayendo como consecuencia la reducción de la digestibilidad en el animal (Mendoza et al., 2014), es por ello que las variables como la degradabilidad de la MS, hidrólisis de la fibra y la producción y rendimiento de leche dependerán no solo de la especie y cantidad de forraje ofertado, sino también del manejo, calidad y el número de ingredientes incluidos en la dieta (Tirado et al., 2017).

En la Figura 13 se aprecia el efecto ( $p=0.0300$ ) de la interacción Edad×Periodo sobre la FDN, esta variable en OI para el cultivo de dos años superó en 50% más al cultivo de cinco años, en tanto, para PV en el cultivo de cinco años la FDN fue 20% mayor que en la de dos años. No obstante, los resultados nutricionales fueron similares a los presentados por Alvarado et al. (2022), el porcentaje de FDN (76%) se incrementó con el uso de *L. leucocephala* como estrato arbóreo en un SSP, debido al aumento en la cantidad de materia orgánica existente en el sistema en asociación con el aumento de residuos de material muerto, lo cual contribuye a una mayor cantidad de carbohidratos estructurales en el forraje de la gramínea, donde a mayor edad del cultivo se incrementó el proceso de lignificación. Sin embargo, durante la etapa de floración la enzima peroxidasa (relacionada a la etapa de polimerización), incrementó su actividad en el proceso de biosíntesis de ligninas de la pared celular (Sharma et al., 2014), de tal forma que, es posible que exista una relación en la edad y en el periodo durante el desarrollo y su relación con la nutrición vegetal de especies forrajeras en este SSP.

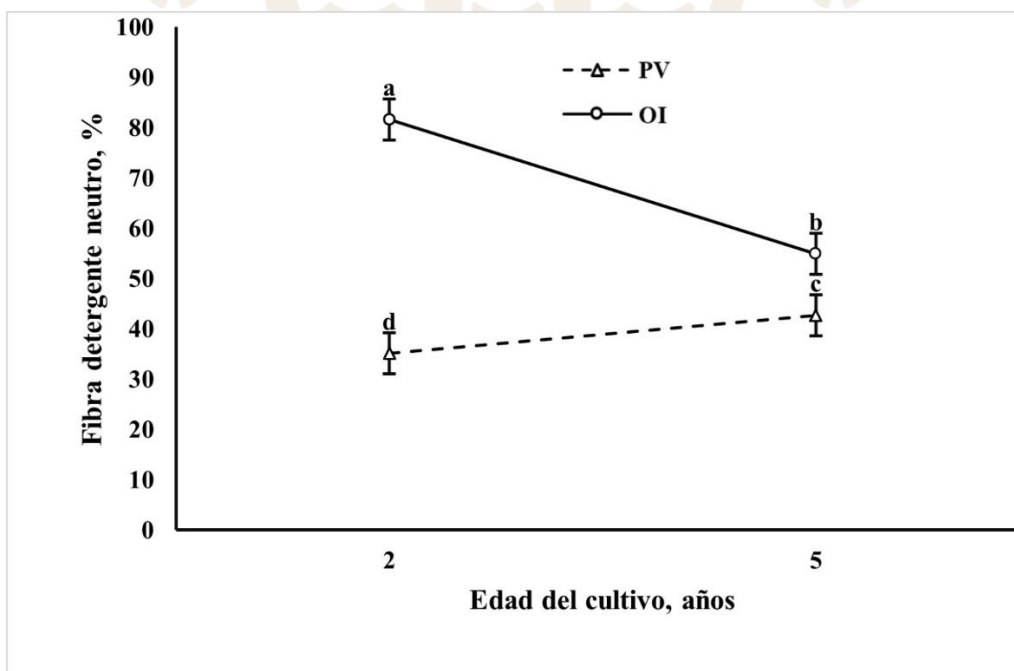




Figura 13. Efecto de la interacción Edad×Periodo sobre la Fibra detergente neutro (%) en sistema silvopastoril. <sup>a,b,c,d</sup> Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey).

### Fibra Detergente Ácida

El consorcio de CFN no afectó ( $P>0.05$ ) a la FDA; el promedio de la FDA de este SSP fue de 50%; siendo numéricamente superiores ( $P>0.05$ ) en los estratos de dos años con un contenido 35% superior a los de cinco años, presentando valores máximos y mínimos de 57 y 43%; éste mismo comportamiento sucedió para el Periodo ( $P>0.05$ ) y la pendiente, presentando valores de 53 a 47% (Tabla 3); niveles altos de FDN y FDA representan un aumento en los costos de alimentación, como la fibra celulósica vegetal y los concentrados (Evan y Marcos, 2020), disminuyendo el desempeño nutritivo de los rumiantes; el incremento de los valores de FDA se debe a factores expuestos como en el caso de FDN; al valor nutritivo y rendimiento que ofrezca el forraje seleccionado, el cual estará en función de la distribución anual de las lluvias, así como en el manejo del SSP, todas estas variables resultan cruciales para la obtención de valores nutrimentales (Roca et al., 2020); los valores altos registrados sugieren un comportamiento de donde la proteína es más insoluble por su mayor contenido de compuestos lignocelulósicos (Sosa et al., 2021), el cual tiende a crecer en función de la edad y del corte del forraje, a medida que la madurez de la planta aumenta, la pared celular se engrosa, la cual activará cambios anatómicos y funcionales internamente (Sánchez et al., 2007); ésta serie de procesos tiende a ser más notoria en tejidos estructurales como el xilema y la esclerénquima, encontrados en los tallos y hojas de las gramíneas, es por ello que el contenido de lignina es más alto en forrajes tropicales con metabolismo  $C_4$  en comparación con forrajes tropicales de zonas altas  $C_3$ , ésta fue posiblemente una de las razones por las cuales el consorcio de CFN realizó un proceso más lento, debido al aumento en los niveles FDN y FDA durante el periodo OI, ya que el proceso de lignificación dificultó el transporte de nutrientes y aminoácidos, a través de un flujo más lento, lo que retardó el proceso de fijación de nitrógeno y por ende la obtención de proteínas en la hoja; de tal modo, se sugieren adecuaciones en los métodos de fertilización, cambiando de aplicación en tallo a foliar, si lo que se desea es una obtención proteica solo en la hoja del forraje.

**Tabla 3. Medias y significancias de variables bromatológicas evaluadas en un sistema silvopastoril, en tiempo inicial y final del experimento.**

Factor	Variables			
	EE	PC	FDN	FDA
Consortio (C)				
Sin	3.18 <sup>a</sup>	21.06 <sup>a</sup>	58.09 <sup>a</sup>	44.84 <sup>a</sup>
Con	4.14 <sup>a</sup>	18.94 <sup>a</sup>	49.13 <sup>a</sup>	55.18 <sup>a</sup>
EEM	0.63	4.66	4.11	5.65
Edad (E)				
2	3.96 <sup>a</sup>	14.86 <sup>b</sup>	58.39 <sup>a</sup>	57.37 <sup>a</sup>
5	3.26 <sup>a</sup>	25.14 <sup>a</sup>	48.83 <sup>a</sup>	42.64 <sup>a</sup>
EEM	0.63	4.66	4.11	5.65
Periodo (P)				
PV	6.05 <sup>a</sup>	22.91 <sup>a</sup>	38.93 <sup>b</sup>	44.60 <sup>a</sup>
OI	1.27 <sup>b</sup>	17.09 <sup>a</sup>	68.29 <sup>a</sup>	55.42 <sup>a</sup>
EEM	0.63	4.66	4.11	5.65
Bloque (B)				
Baja	4.30 <sup>a</sup>	18.70 <sup>a</sup>	50.34 <sup>a</sup>	47.30 <sup>a</sup>
Alta	3.02 <sup>a</sup>	21.30 <sup>a</sup>	56.88 <sup>a</sup>	52.71 <sup>a</sup>
EEM	0.63	4.66	4.11	5.65
Significancias				
C	0.3200	0.4600	0.1700	0.2430
E	0.5300	0.0087	0.1500	0.1150
P	0.0017	0.0739	0.0023	0.2250
B	0.2000	0.3700	0.3000	0.5240
E*C	0.3200	0.9500	0.9600	0.9550
E*P	0.3800	0.2900	0.0300	0.6160
C*P	0.2000	0.4200	0.3400	0.4220
E*B	0.3200	0.6600	0.7900	0.5820
E*C*P	0.3100	0.9400	0.3900	0.1690

\*EE = Extracto etéreo, %; PC = Proteína cruda, %; FDN = Fibra detergente neutra, %; FDA = Fibra detergente ácida, %. <sup>a, b</sup>Medias con la misma literal no son significativas ( $P > 0.05$ ; Tukey)

### Conclusiones

La adaptabilidad de estos microorganismos en ecosistemas tropicales permitió generar información suficiente sobre la relación de *L. leucocephala* en un sistema silvopastoril bajo diferentes periodos estacionales y edades en el cultivo a pesar de no mejorar la productividad y la calidad forrajera del SSP. Las cianobacterias fijadoras de nitrógeno ofrecen diversos servicios a través de la actividad biológica que desarrollan, la biomasa de estos organismos desempeñó actividades en el mecanismo y rendimiento de los cultivos donde fue aplicada; a diferencia de otros microorganismos que necesitan realizar simbiosis para la liberación de nutrientes, las cianobacterias no requirieron un huésped para su crecimiento y desarrollo; la aplicación de bioestimulantes en el forraje y suelo de sistemas silvopastoriles permitió encaminar al productor a una ganadería más sostenible que permite ofrecer una alternativa en la disminución de los insumos externos como el uso de agroquímicos que degradan al medio ambiente así como la implementación de dietas que no cumplan con los suficientes requerimientos nutricionales para los animales. Por tanto, la relación entre el transporte de nutrientes y el proceso de lignificación amerita investigaciones futuras para mejorar condiciones nutricionales en la planta.

### Agradecimientos

Los autores agradecemos ampliamente al productor Sr. Julio del Ángel por todas las facilidades prestadas en su rancho Loma Bonita durante la realización de la investigación.

**Funding:** This research received no external funding.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflicts of interest.

**Compliance with ethical standards:** Not applicable.

**Data availability:** Data is contained within the article.

**Author Contribution Statement (CRediT):** C. Ramírez López, C. Vite Cristóbal, H. Martínez Domínguez: Conceptualization, methodology, writing - original draft preparation, investigation, data analysis and editing., C. Ramírez López, K.L. Silva Martínez: writing - review and editing.



**Tropical and Subtropical Agroecosystems**

Journal Help | HOME | ABOUT | USER HOME | SEARCH | CURRENT | ARCHIVES | ANNOUNCEMENTS

Home > User > Author > Active Submissions

### Active Submissions

ACTIVE | ARCHIVE

ID	MM-DD SUBMIT	SEC	AUTHORS	TITLE	STATUS
5778	08-05	ART	Cristóbal, Domínguez, López, Martínez	PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD FORRAJERA DE UN SISTEMA...	Awaiting assignment

1 - 1 of 1 Items

#### Start a New Submission

[CLICK HERE](#) to go to step one of the five-step submission process.

ISSN: 1870-0462

Signatory of DORA  
San Francisco Declaration on Research Assessment



## REFERENCES

- Aguirre, J., Aguirre, J., Cadena, J., Avendaño, C., 2012. Biofertilización en plantas de la selva húmeda tropical., 1.a. ed. Colegio de Postgraduados, México.
- Aguirre, J., Gálvez, A., Ibarra, J., 2018. Crecimiento de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit biofertilizada con hongos micorrízicos arbusculares en vivero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 24, 49–58. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.07.043>
- Alonso, E., Trujillo, M., Cervantes, P., Ramírez, E., 2021. Bioencapsulado de *Fischerella sp.*: crecimiento, metabolismo y concentración del inóculo. TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 24, 1–9. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.342>
- Alvarado, A., Canul, J., Castillo, L., Campos, M., López, E., Luna, A., Ruz, N., Alayón, J., Casanova, F., Piñeiro, A., Chay, A., 2022. Producción y calidad forrajera de *Cynodon plectostachyus* bajo sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* 25, 1–9.
- Araiza, K., Murillo, M., Herrera, E., Valencia, R., Carrete, F., Pámanes, G., 2020. *Leucaena leucocephala* y *Opuntia ficus-indica* reducen la producción de metano in vitro 10, 1–13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2020.18>
- Argüello, J., Mahecha, L., Angulo, J., 2019. Arbustivas forrajeras: importancia en las ganaderías de trópico bajo Colombiano. Agronomy Mesoamerican 30, 899–915. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35136>
- Ashworth, D., Laughlin, A., Boyer, M., 2018. Using SketchUp to Simulate Tree Row Azimuth Effects on Alley Shading. Agronomy Journal (1), 425–430. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.04.0224>
- Astúa, M., Campos, C., Rojas, A., 2021. Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad de rebrote sobre las características morfológicas y rendimiento agronómico del botón de oro (*Tithonia diversifolia*). INTA-Quepos 1. Nutrición Animal Tropical 1 15, 11–18. <https://doi.org/10.15517/nat.v15i1.47521>
- Azuara, I., López, S., Jarillo, J., Pérez, P., Ortega, E., 2018. Disponibilidad de forraje en un sistema silvopastoril con distintas densidades de *Leucaena leucocephala* L., manejado bajo pastoreo regenerativo. Avances en Investigación Agropecuaria 22, 53–54.
- Bautista, L., Benavides, J., Cardona, W., Criollo, P., Torres, D., Albarracín, L., Bolaños-, M., 2023. Prácticas sostenibles para la conservación de suelos en sistemas productivos ganaderos de trópico alto. Temas Agrarios 28, 9–22. <https://doi.org/10.21897/rta.v27i2.3169>
- Blanco, J., Romero, J., Montilla, M., 2023. Fijación biológica de nitrógeno y producción ganadera en ambientes tropicales. Revista Ciencia y Agricultura 20. <https://doi.org/10.19053/01228420.v20.n3.2023.16684>
- Castillo, E., Jarillo, J., 2020. Sistemas silvopastoriles para manejo sostenible de la alimentación de rumiantes bajo pastoreo en el trópico. Revista Mexicana de Agroecosistemas 8, 11–13.
- CEIEG, O., 2022. CUADERNILLOS MUNICIPALES, 2022. Ozuluama de Mascareñas. [http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2022/09/Ozuluama-de-Mascare%C3%B1as.CM\\_.2022.4.pdf](http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2022/09/Ozuluama-de-Mascare%C3%B1as.CM_.2022.4.pdf)
- Contreras, R., Lara, A., Uribe, M., Cruz, A., Rodríguez, D., Valencia, G., 2020. Comportamiento forrajero del estrato herbáceo en diferentes densidades arbóreas de selva baja caducifolia. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11.
- Corrales, L., Arévalo, Z., Moreno, V., 2014. Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. Ciencias Biomédicas 12, 67–79. <https://doi.org/10.22490/24629448.997>
- Espinosa, O., Castillo, G., Arellano, L., Pérez, P., López, S., 2020. Diversidad florística y carga ganadera en la vegetación secundaria del bosque seco tropical utilizada para pastoreo. Global Ecology and Conservation 23. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01088>
- Enríquez, J., Esqueda, V., Bolaños, E., 2020. Leguminosas forrajeras para mejorar la alimentación de bovinos en el trópico de México. (No. MX-0-310307-52- 04-20-12–118). INIFAP.
- Evan, T., Marcos, C., 2020. In Vitro and In Situ Evaluation of Broccoli Wastes as Potential Feed for Ruminants. Animals 10, 1–14.
- Fajardo, G., Mejía, N., Gutiérrez, J., 2018. Potencial calórico y acumulación de biomasa de la especie *Leucaena macrophylla* Benth. Establecida con tres tipos de espaciamiento en Cortes, Honduras. Revista Forestal





- Mesoamericana Kurú 15, 79–86. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v15i1.3840>
- Fassola, H., Lacorte, S., Pachas, N., Pezzutti, R., 2006. Efecto de distintos niveles de sombra del dosel de *Pinus taeda* L. sobre la acumulación de biomasa forrajera de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv\*. *Revista Argentina de Producción Animal* 26, 101–111.
- Galvão, A., Silva, J., Albertino, S., Monteiro, G., Cavalcante, D., 2011. Levantamento fitossociológico em pastagens de várzea no estado do Amazonas. *Planta Daninha* 1, 69–75.
- Garay, J., Joaquín, S., Estrada, B., Martínez, J., Joaquín, B., Limas, A., Hernández, J., 2018. Acumulación de forraje de pasto buffel e híbridos de *Urochloa* a diferente edad de rebrote. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5, 573–581. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1634>
- Giraldo, N., Chará, J., 2022. Efecto de los sistemas silvopastoriles intensivos en la reducción de la degradación física y biológica del suelo. *Investigación Ganadera para el Desarrollo Rural* 34, 17.
- Gómez, B., Ruíz, L., Lavín, C., 2019. Sistema silvopastoril intensivo, alternativa sustentable para ganado bovino de doble propósito en pastoreo. En: *Innovación En La Ganadería Veracruzana*.
- Gonzales, E., Alcarraz, M., Castro, A., Casas, S., 2018. Efecto del biofertilizante azotobacter-rhizobium en tarwi (*Lupinus mutabilis* SWEET.), como alternativa a la fertilización química. *Ciencia e Investigación* 21, 7–12.
- Guilcapi, E., Gualpa, M., Ortíz, L., 2019. Efecto de Diferentes Dosis de Humus, Fitohormonas y Tiempos de Aplicación en la Producción Primaria del Pasto *Arrhenatherum elatius*. *European Scientific Journal* 15. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n15p309>
- Hernández, GI, Hernández, M., Sol, A., Rosales, F., Hernández, G, 2023. Importancia forrajera y nutricional de *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.* 9, 2140–2152. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v9i17.16400>
- Hernández, M., López, S., Jarillo, J., Ortega, E., Pérez, S., Díaz, P., 2020. Rendimiento y calidad nutritiva del forraje en un sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias* 53–69.
- Hernández, M., López, S., Jarillo, J., Ortega, E., Pérez, S., Díaz, P., 2021. Rendimiento de forraje e interacciones aéreas en función de la densidad de árboles de *Leucaena leucocephala* asociada a la gramínea *Digitaria eriantha*. *Avances en Investigación Agropecuaria* 25. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.21.25.31>
- Infante, A., 2021. Diseño de sistemas productivos agroecológicos, in: *Agroecología Fundamentos y Técnicas de Producción, y Experiencia En La Región de Los Ríos*, INIA. Osorno, Chile, p. 370.
- Jaime, M., Álvarez, J., Camacho, J., 2023. Modelo no destructivo para estimar el área foliar individual mediante parámetros alométricos en gulupa (*Passiflora edulis* fo. *edulis*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 26. <https://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2356>
- Jarillo, J., Castillo, E., López, S., 2023. Producción de forraje en híbridos de *Urochloa* bajo condiciones de sol y sombra de *Melia azedarach* L. *Forrajes Tropicales*, 11, 210–219. <https://doi.org/10.17138/TGFT>
- López, I., Martínez, L., Pérez, G., Reyes, Y., Núñez, M., Cabrera, J., 2020. Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales* 41.
- López, J., Casanova, F., Villanueva, G., Díaz, V., Solorio, F., Martínez, P., Chay-Canul, A., 2019a. Almacenamiento de carbono en un sistema silvopastoril comparado con el de un bosque seco caducifolio en Michoacán, México. *Sistemas Agroforestales* 93, 199–211. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0259-x>
- López, O., Lamela, L., Sánchez, T., Olivera, Y., García, R., Herrera, M., González, M., 2019b. Evaluación del valor nutricional de los forrajes en un sistema silvopastoril. *Pastos y Forrajes* 42, 57–67.
- Martínez, M., Reyes, C., Lara, B., Miranda, R., Huerta, B., Uribe, G., 2016. Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca Potosina de México. *Rev. Mex. de Cienc. Pecuarias* 16, 3343–3355.
- Martínez, P., Cortés, E., Purroy, R., Palma, J., Del Pozo, P., Vite, C., 2019. *Leucaena leucocephala* (LAM.) de Wit especie clave para una producción bovina sostenible en el trópico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 22, 331–357. <https://doi.org/10.56369/tsaes.2707>
- Martínez, D., Enríquez, J., Esqueda, V., Ortega, E., 2020. Recambio de tejido de hojas en *Brachiaria humidicola*. *Proc. 4th Australas. Dairy Sci. Symp.*
- Mejía, S., Suárez, E., Atencio, L., Tapia, J., Paternina, Y., Cuadrado, H., 2020. Desempeño productivo de bovinos de levante en pastoreo rotacional de *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus en Colombia. *Pastos*



- y Forrajes 43, 352–360.
- Mendoza, J., Loera, O., Plata, F., Hernández, P., Ramírez, M., 2014. Considerations on the use of exogenous fibrolytic enzymes to improve forage utilization. *Scientific World Journal* 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/247437>
- Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., Rivera, J., 2019. Desarrollo de la ganadería sustentable en sistemas silvopastoriles en América Latina. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 53, 65–71.
- Murgueitio, E., Uribe, F., Molina, C., Galindo, W., Chará, J., Flores, M., Giraldo, C., Cuartas, C., Naranjo, J., Solarte, L., González, J., 2016. Establecimiento y Manejo de Sistemas Silvopastoriles Intensivos con *Leucaena*. CIPAV, Cali, Colombia.
- National Research Council, 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th ed. National Academy Press. Washington, D.C.
- Osorio, J., Calderón, V., López, O., Restrepo, D., 2024. Importancia de la disponibilidad de alternativas forrajeras para la alimentación de ganado bovino. *Revista Politécnica* 20, 18–30. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n39a2>
- Pachas, A., Shelton, H., Lambrides, C., Dalzell, S., Murtagh, G., Hardner, M., 2018. Efecto de la densidad de árboles sobre la competencia entre *Leucaena leucocephala* y *Chloris gayana* mediante un ensayo de Nelder Wheel. II. Interacciones subterráneas. *Ciencia de cultivos y pastos* 69, 733–744. <https://doi.org/10.1071/CP18040>
- Palazzini, D., Pisetta, T., Galasso, G., Harrand, L., Del Tufo, N., Mujica, G., Pathauer, P., 2023. Evaluación preliminar de clones de *Eucalyptus* en sistemas silvopastoriles del norte de Buenos Aires. Presentado en el XII Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles, II Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles, IV Seminario Seminario Nacional de Sistemas Silvopastoriles, V Congreso Nacional Sistemas Silvopastoriles, CIPAV, Montevideo, Uruguay.
- Pérez, A., Gómez, B., Salinas, V., Pérez, J., Nuncio, M., García, J., 2022. Producción y valor nutricional de forraje en un sistema silvopastoril de clima templado subhúmedo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 9, 52–58.
- Pérez, E., Ruíz, B., Sánchez, Y., Canseco, M., Pérez, Y., 2023. Rendimiento y composición química de *Panicum maximum* cv. Tanzania en un sistema silvopastoril en Chiapas. *Biocencia* 25, 97–104. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v25i2.1844>
- Pincay, R., Luna, R., Espinoza, A., Medina, M., 2020. Inoculantes bacterianos del género *Azotobacter* en la asociación del pasto *Andropogon gayanus* con *Clitoria ternatea* y kudzu (*Pueraria phaseoloides*). *Nexo Agropecuario* 8, 27–35.
- Polanía, K., Olaya, A., Cherubin, M., Herrera, W., Ortiz, F., Silva, A., 2021. Soil physical quality responses to silvopastoral implementation in Colombia Amazon. *Geoderma* 386. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114900>
- Ramírez, C., 2011. Fertilización de trigo (*Triticum aestivum*) variedad Bárcenas empleando un consorcio microbiano fotosintético fijador de nitrógeno. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Ramírez, O., Hernández, A., Silva, S., Pérez, J., Junior, S., Castro, R., Enríquez, J., 2010. Características morfogénicas y su influencia en el rendimiento del pasto Mombaza, cosechado a diferentes intervalos de corte. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12, 303–311.
- Roca, J., Vera, J., Rivera, C., Brito, F., 2020. La nutrición de rumiantes en la zona norte de Manabí en la formación de estudiantes de Ingeniería Agropecuaria y Medicina Veterinaria. *Maestro y Educación* 17, 571–582. <https://maestrosociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/5225>
- Romero, G., Echeverría, M., Hidalgo, V., Aguirre, L., Robles, R., Núñez, J., 2020. Efecto del faique (*Acacia macracantha*) sobre el valor nutricional del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) en un sistema silvopastoril. *Rev. Invest. Vet. Perú* 31. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17562>
- Rippka, R., Deruelles, J., Waterbury, J., Herdman, M., Stanier, R., 1979. Generic Assignments, Strain Histories and Properties of Pure Cultures of Cyanobacteria. *Journal of General Microbiology* 111, 1–61. <https://doi.org/10.1099/00221287-111-1-1>
- Rojas, A., Maldonado, M., Hernández, F., Hernández, A., Chay, A., Ventura, J., 2021. Potencial forrajero de guaje (*Leucaena leucocephala*) a diferentes densidades de plantas y edades de rebrote. *Ecosist. Recur. Agropec.* <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2919>
- Roque, R., Silva, J., Barrera, M., 2022. Sistemas silvopastoriles para la producción ganadera en el Centro de



- Producción Limón Rocío de la UNSM-T. Revista de Veterinaria y Zootecnia Amazónica 2.
- Sánchez, A., Gonzalo, J., Faria, J., 2007. Evolución comparada de la composición química con la edad al corte en las especies *Leucaena leucocephala* y *L. trichodes*. Zootecnia Tropical 25.
- Sánchez, J., Zita, G., Mendoza, M., 2012. Catálogo de las gramíneas malezas nativas e introducidas de México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria, SENASICA Dirección General de Sanidad Vegetal, DGSV.
- Santiago, I., Lara, A., Miranda, L., Huerta, M., Krishnamurthy, L., Muñoz, J., 2016. Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7.
- Sharma, S., Goyal, R., Sadana, U., 2014. Selenium Accumulation and Antioxidant Status of Rice Plants Grown on Seleniferous Soil from Northwestern India. Rice Science 21, 327-334.
- Sosa, E., Mendoza, S., Huerta, L., González, F., Silva, M., Bárcena, J., 2021. Composición nutricional de seis gramíneas tropicales del estado de Jalisco, México. Ecosist. Recur. Agropec. 1-7. <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2938>
- Tirado, D., Miranda, L., Ruíz, A., Medina, S., Ramírez, R., Tirado, G., 2017. Meta-analysis: effects of exogenous fibrolytic enzymes in ruminant diets. Journal of Applied Animal Research 46, 771-783. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1399135>
- Trujillo, M., Ramírez, E., 2016. Biofertilizer: an alternative to reduce chemical fertilizer in agriculture. Journal of Global Agriculture and Ecology 4, 99-103. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4935.4967>
- Valles, B., Cadish, G., 2010. Determinación de la fijación biológica de N<sub>2</sub> usando la técnica de abundancia natural del N<sub>15</sub> en tres ecotipos de cacahuete forrajero. Rev. Mex. de Cienc. Pecuarias 1, 99-114.
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M., Saghai, Y., 2021. A metaanalysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010-2050. Nature Food (7), 494-501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- Vite, C., Hernández, PA, Cortés, E., Hernández, P, García, J.M.P., Alberto, J., Estrada, S., González, M., 2020. Modelos cuantitativos desarrollados con estrategias no destructivas para la estimación del área foliar en *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Avances en Investigación Agropecuaria 24, 51-66.
- Vite, C., Martínez, P., Cortés, E., Pérez, P., Palma, J., Miranda, L., 2019. Calidad fermentativa y digestibilidad *in vitro* de accesiones de leucaena de distintas procedencias agroclimáticas de México. Revista Mexicana de Agroecosistemas 6.
- Zúñiga, E., Martínez, E., Zavaleta, E., Gamboa, A., 2017. El floema y la ruta simplástica durante la formación de órganos de demanda. Revista Fitotecnia Mexicana 40, 249-259.





**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



ME LLENA DE ORGULLO



161

### Agradecimientos

Los autores agradecemos ampliamente al productor Sr. Julio del Ángel por todas las facilidades prestadas en su rancho Loma Bonita durante la realización de la investigación.

**Funding:** This research received no external funding.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflicts of interest.

**Compliance with ethical standards:** Not applicable.

**Data availability:** Data is contained within the article.

**Author Contribution Statement (CRediT):** C. Ramírez López, C. Vite Cristóbal, H. Martínez Domínguez: Conceptualization, methodology, writing - original draft preparation, investigation, data analysis and editing., C. Ramírez López, K.L. Silva Martínez: writing - review and editing.



2024: 200 AÑOS DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN 1824-2024

Desv. Lindero – Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 2503 ext.101

[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)



**200 AÑOS**  
**VERACRUZ**  
DE IGNACIO DE LA LLAVE  
COMO PARTE DE LA FEDERACIÓN





**VERACRUZ**  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



**SEV**  
Secretaría  
de Educación



**DET**  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



## Congreso

Participación con la ponencia “Productividad forrajera de Leucaena con un consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno en sistema silvopastoril” en el IV Congreso Internacional, VI encuentro de la Red de Vinculación SOMUCAAB en la categoría Área Multidisciplinaria, celebrado de manera virtual el 15,16 y 17 de noviembre de 2023. Se anexa constancia de reconocimiento y resumen incluido en la memoria del congreso.



## Productividad forrajera de *Leucaena* con un consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno en sistema silvopastoril

Huberto Martínez-Domínguez<sup>1,\*</sup>, Claudio Vite-Cristóbal<sup>1</sup>, Citlally Ramírez-López<sup>2</sup>, Karla Lissette Silva-Martínez<sup>1</sup>

**Resumen.** El uso de agroquímicos, la deforestación desmedida y la ganadería de uso intensivo, son los principales componentes en la mayoría de los territorios de producción pecuaria tropical. Por lo tanto, se realizó la aplicación de un consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno, el cual podría mejorar las propiedades forrajeras de *Leucaena* dentro de un sistema silvopastoril (SSP), el estudio de sus efectos, permitirá ayudar a controlar la deficiencia de nitrógeno en las plantas, mejorar la aireación del suelo, la capacidad de retención de agua además de mejorar la disponibilidad de los nutrientes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de un consorcio de Cianobacterias Fijadoras de Nitrógeno (CFN) sobre las propiedades forrajeras y bromatológicas de *Leucaena*, determinar la dinámica del pH, así como su relación con las características foliares de *Leucaena* determinando por último, la influencia del consorcio sobre la actividad fotosintética, conductividad eléctrica y materia orgánica al final del periodo primavera-verano de un (SSP) implementado en el municipio de Ozuluama de Mascareñas, Veracruz, México. La metodología consistió en dos etapas: Etapa I. Preparación del medio de cultivo BGA-11<sub>6</sub> para el consorcio fotosintético microbiano y resiembra del mismo en periodos quincenales. Etapa II. Aplicación del consorcio en un SSP del extracto arbóreo *Leucaena* y el extracto herbáceo pasto Miyagi (*Megathyrsus maximus*) durante periodos de sesenta días, con muestreo en tiempo cero y previos a cada aplicación para realizar los estudios de las propiedades forrajeras, edafológicas y bromatológicas. Con la aplicación de un consorcio de cianobacterias inoculadas se han encontrado en la revisión literaria amplias aplicaciones, como biocombustibles, suplementos nutricionales, captura de tratamiento de aguas residuales para la contaminación, etc. Pero el objetivo general se centró al sector pecuario. La diversidad de microalgas es un tópico aún muy inexplorado que necesita mayor atención y un nuevo enfoque hacia donde se dirigen las numerosas posibilidades para desarrollar aplicaciones como recursos renovables en la agricultura y como soluciones sostenibles para producción de cultivos, enriquecimiento de macro y micronutrientes de las plantas, y protección y restauración de suelos.

**Palabras clave:** Ganadería regenerativa, Biotecnología agrícola, Consorcio.

**Abstract.** The use of agrochemicals, excessive deforestation and intensive livestock farming are the main components in most tropical livestock production areas. Therefore, the application of a consortium of nitrogen-fixing cyanobacteria, which could improve the forage properties of *Leucaena* within a silvopastoral system (SSP), the study of its effects will help control nitrogen deficiency in plants, improve soil aeration, water retention capacity and improve the availability of nutrients. The objective of this research was to evaluate the effect of a consortium of Nitrogen Fixing Cyanobacteria (NFC) on the forage and bromatological properties of *Leucaena*, to determine the dynamics of pH, as well as its relationship with the foliar characteristics of *Leucaena*, and finally, to determine the influence of the consortium on photosynthetic activity, electrical conductivity and organic matter at the end of the spring-summer period of a (SSP) implemented in the municipality of Ozuluama de Mascareñas, Veracruz, Mexico. The methodology consisted of two stages: Stage I. Preparation of the BGA-

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz, México.

<sup>2</sup>Universidad del Mar, Oaxaca, México.

\*Autor para correspondencia: [hubertoamb@gmail.com](mailto:hubertoamb@gmail.com)

Cita: Martínez-Domínguez, H., Vite-Cristóbal, C., López-Ramírez, C., Silva-Martínez, K.L. (2023). Productividad forrajera de *Leucaena* con un consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno en sistema silvopastoril. Memoria de Congreso SOMUCAAB 2023, 3. <https://www.somucaab.mx/documentos/>

## Estancia

Realizada en el Laboratorio de bromatología, en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias región Poza Rica – Tuxpan de la Universidad Veracruzana del 7 al 22 de septiembre de 2023.



  
Universidad Veracruzana  
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias / Poza Rica – Tuxpan  
Oficio M.V.Z./074/28/02/24

**M.C Amado Alberto Álvarez Cepeda**  
Jefe de Posgrado e Investigación  
Maestría en Producción Pecuaria Tropical  
Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca

**PRESENTE**

Por medio de la presente, le envío un cordial saludo y al mismo tiempo informo a usted que el alumno **ING. HUBERTO MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ** realizó de manera satisfactoria la estancia de investigación realizada en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias región Poza Rica-Tuxpan de la Universidad Veracruzana, en el periodo de 7 al 22 de septiembre de 2023 con un total de 156 horas con el objetivo de realizar técnicas bromatológicas y análisis proximales en forrajes que corresponden a su trabajo de investigación.

**Sin otro particular y agradeciendo de antemano su atención. Quedo de usted.**

Como electrónico:  
jhuerta@uv.mx  
<http://www.uv.mx/posgrados>

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”  
Tuxpan de R. Cano, Ver., 28 de febrero de 2024

  
**Dr. Javier Cruz Huerta Peña**  
JEFE DE CARRERA MEDICINA  
VETERINARIA Y ZOOTECNIA

  
**Vo. Bó.**  
**Mtra. Ariadna Faride Alanis Castillo**  
SECRETARIA DE LA FACULTAD

**FACULTAD DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y  
AGROPECUARIAS**  
  
TUXPAN, VER.



## Retribución social



"2023: 200 años de Veracruz de Ignacio de la Llave, cuna del Heroico Colegio Militar 1823-2023"

Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca  
Oficio No. SPE/085/2024  
"Experiencia en la Formación de Profesionistas"  
Asunto: el que se indica. Constancia de Retribución Social  
Tantoyuca, Ver. 06 de junio de 2024

Dra. Liza Elena Aceves López  
Coordinadora de Programas para la Formación y Consolidación de la Comunidad  
Presente.

En cumplimiento a los compromisos establecidos en el numeral B "LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES DEL BECARIO, DE LA COORDINACIÓN ACADÉMICA DE PROGRAMA DEL POSGRADO POSTULANTE Y DEL CONAHCYT, CON MOTIVO DE LA ASIGNACIÓN DE LA BECA" de la Convocatoria BECAS CONACYT NACIONALES 2022-2, el C. Huberto Martínez Domínguez con número de CVU 1079185 beneficiado con una beca para obtener el grado de Maestría en el programa Maestría en Producción Pecuaria Tropical con número de registro SNP 005819, que se imparte en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, realizó dos actividades de retribución social que se enlistan en el documento anexo a esta constancia.

Las actividades de retribución social se realizaron durante el periodo de Agosto 2022 a Julio 2024, tiempo que el becario fue alumno 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 requieran.

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

Dr. Daniel Angeles Herrera  
Subdirector de Posgrado e Investigación  
del ITS de Tantoyuca.

Desv. Lindero - Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 26 86, 893 15 52 ext. 101,  
#mwh: @\_tantoyuca720011111  
www.itsta.edu.mx





## Actividad 1




### Constancia de Actividades de Retribución Social

**Actividad 1. Disertante en el curso Taller Regional de Veracruz, "Acciones por la Sustentabilidad Ganadera"**  
**Descripción de la actividad:** Desarrollo una ponencia "Productividad forrajera de leucaena con un consorcio de cianobacterias fijadoras de nitrógeno en sistema silvopastoril"  
**Fecha de inicio:** 24 de agosto 2023  
**Fecha de término:** 25 de agosto 2023  
**Institución en la que se realizó la actividad:** Salón SUTEM DE CFE. Centro social y deportivo Victor Fuentes del Villar. En la Cd. De Tuxpan, Ver.  
**Nombre del responsable de supervisar la actividad:** Dr. Claudio Vite Cristóbal  
**Cargo del responsable de supervisar la actividad:** Director de Tesis  
**Datos de contacto del responsable de la actividad:** claudio.vite@itsta.edu.mx  
**Descripción del impacto social de la actividad:** se realizaron actividades de formación y capacitación para la sustentabilidad ganadera en la región de Tuxpan, Veracruz con la finalidad de tomar acciones que contribuyan a resolver problemas alimenticios.

  
Huberto Martínez Domínguez  
CVU: 1079185

  
Dr. Daniel Angeles Herrera  
Subdirector de Posgrado e Investigación



  
Dr. Claudio Vite Cristóbal  
Director de Tesis

## Actividad

167

2



### Constancia de Actividades de Retribución Social

**Actividad 2.** Impartición del taller "fertilización de maíz con cianobacterias" en el marco de la conmemoración del día del agrónomo"

**Descripción de la actividad:** Ponente en el curso taller: fertilización de maíz con cianobacterias" la actividad se realizó en el campo experimental del ITS de Tantoyuca con los alumnos de los diferentes semestres de la carrera de Ingeniería en Agronomía, abordando la problemática actual de los sistemas pecuarios tropicales, asimismo, se desarrolló un modelo estadístico para ejemplificar el procesamiento de datos con un software estadístico, así como, la interpretación de los resultados y por último se procedió a la fertilización del cultivo.

**Fecha de inicio:** 22 de febrero de 2024

**Fecha de término:** 22 de febrero de 2024


**Institución en la que se realizó la actividad:** Tecnológico Nacional de México, en la Cd. De Tantoyuca, Ver

**Nombre del responsable de supervisar la actividad:** Dr. Claudio Vite Cristóbal


**Cargo del responsable de supervisar la actividad:** Director de Tesis

**Datos de contacto del responsable de la actividad:** claudio.vite@itsta.edu.mx


**Descripción del impacto social de la actividad:** Incentivar el interés por la investigación, ciencia y tecnología en alumnos de educación superior para continuar con su preparación profesional con la realización de un posgrado. Los alumnos adquirieron el conocimiento de sustentabilidad, medio ambiente, y temas relevantes de la agenda 2030.



Huberto Martínez Domínguez  
CVU: 1079185



Dr. Daniel Angeles Herrera  
Subdirector de Posgrado e Investigación



Dr. Claudio Vite Cristóbal  
Director de Tesis

Desv. Lindero - Tametate s/n, Col. La Morita  
C.P. 92100, Tantoyuca, Veracruz  
Tel. 789 893 16 80, 893 15 52 ext. 101,  
e-mail: [dir\\_tantoyuca@itsta.edu.mx](mailto:dir_tantoyuca@itsta.edu.mx)  
[www.itsta.edu.mx](http://www.itsta.edu.mx)





## Inglés

### TOEFL ITP Score Report

Name of Institution: IQ PEDAGOGOS

Name: MARTINEZ D, HUBERTO

Student Number: 1435

DOB: 28 Apr 1993

Sex: M

Times Taken TOEFL: 1

Native Country: Mexico

Native Language: SPA - Spanish

Scaled Scores:

Listening Comprehension: 46

Structure & Written Expression: 33

Reading Comprehension: 42

Total Score: 403

Test Date: 21 Oct 2023

Form: TOEFL ITP Level 1



The face of this document has a security background. The back contains a watermark. Hold at an angle to view.

The TOEFL® ITP Assessment Series is designed to be used for placement, progress monitoring, and exit purposes. TOEFL® ITP scores can also be used for admissions to programs and institutions where English is not the dominant language of instruction for content courses. Learn more at [www.ets.org/toefl\\_itp/use](http://www.ets.org/toefl_itp/use).

154774-16573 • FB0923R60 • Printed in U.S.A.

I.N. 770462

Copyright © 2012 by Educational Testing Service.

Student's File Copy  
Do Not Copy

NS = No Score

