



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERIA

SEDE VILLA CORZO

TESIS

**RESPUESTAS ECOFISIOLÓGICAS DEL
PASTO CAYMAN (*Brachiaria* sp.) EN UN
SISTEMA SILVOPASTORIL.**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

AGROFORESTALES

PRESENTA

CÉSAR IVÁN VÁZQUEZ RAMOS

DIRECTOR

DR. LUIS ALFREDO RODRÍGUEZ LARRAMENDI

Villa Corzo, Chiapas

Noviembre de 2024





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERIA
SEDE VILLA CORZO

TESIS

RESPUESTAS ECOFISIOLÓGICAS DEL
PASTO CAYMAN (*Brachiaria* sp.) EN UN
SISTEMA SILVOPASTORIL.

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
AGROFORESTALES

PRESENTA

CÉSAR IVÁN VÁZQUEZ RAMOS

COMITÉ TUTORIAL

DR. LUIS ALFREDO RODRÍGUEZ LARRAMENDI (DIRECTOR)

DR. MIGUEL ÁNGEL SALAS MARINA (CODIRECTOR)

DR. WEL OLVEIN CRUZ MACÍAS (ASESOR)

Villa Corzo, Chiapas

Noviembre de 2024.





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS AUTÓNOMA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 04 de julio de 2024
Oficio No. SA/DIP/0490/2024
Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. César Iván Vázquez Ramos
CVU: 1181426
Candidato al Grado de Maestro en Ciencias Agroforestales
Facultad de Ingeniería
UNICACH
Presente

Con fundamento en la **opinión favorable** emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Respuestas ecofisiológicas del pasto Cayman (*Brachiaria sp*) en un sistema silvopastoril** cuyo Director de tesis es el Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi (CVU: 669005) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo **autoriza** la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestro en Ciencias Agroforestales**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento impreso, así como realizar la entrega en esta Dirección de un ejemplar empastado.

Atentamente
"Por la Cultura de mi Raza"

Dra. Carolina Orantes García
Directora



C.c.p. Ing. Mónica Catalina Cisneros Ramos, Directora de la Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Dr. Miguel Ángel Salas Marina, Coordinador del Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Archivo/minutario.

RJAG/COG/hyb/igp/gtr

2024 Año de Felipe Carrillo Puerto
BENEMÉRITO DEL PROLETARIADO,
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL MAYAB.



Secretaría Académica
Dirección de Investigación y Posgrado
Libramiento Norte Poniente No. 1150
Colonia Lajas Maciel C.P. 29039
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Tel:(961)6170440 EXT.4360
investigacionyposgrado@unicach.mx

Agradecimientos

A CONACYT por el financiamiento de la beca, sin el apoyo económico este proyecto no se hubiese concretado.

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

Al Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi por su apoyo durante mi formación académica, por sus palabras, consejos, acompañamiento, sin su asesoramiento no sería el profesional que soy. Toda admiración, cariño y respeto.

Al Cuerpo Académico Agroforestería y Desarrollo rural y al Núcleo Académico de la maestría, gracias por sus aportaciones a mi formación. A mis amigos y compañeros de la maestría.

Dedicatoria

Me gustaría dedicar esta tesis a toda mi familia.

Para mis padres Julio Cesar y Carmen Gabriela, por su comprensión y ayuda en momentos malos y menos malos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

Para mi esposa Ana, a ella especialmente le dedico esta tesis, por su paciencia, comprensión, empeño, fuerza y por su amor, ya que es la persona que sufrió directamente las consecuencias del trabajo realizado. Realmente ella me llena para conseguir el equilibrio que me permite dar el máximo de mí. Nunca le podré estar suficientemente agradecido.

Índice

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN GENERAL | 9 |
| Objetivos | 12 |
| Objetivo general | 12 |
| Objetivos específicos | 12 |
| Hipótesis | 12 |
| REVISIÓN DE LITERATURA | 13 |
| Los sistemas silvopastoriles | 13 |
| Interacciones entre componentes en sistemas silvopastoriles | 13 |
| Sistemas pecuarios tradicionales | 14 |
| Antecedentes Cayman (<i>Braquiaria sp.</i>) | 14 |
| Radiación solar en las plantas | 15 |
| Fotosíntesis | 16 |
| Fluorescencia de la clorofila | 18 |
| Transpiración | 19 |
| Capítulo 1: | 21 |
| Artículo 1: Caracterización del microclima de un sistema silvopastoril | 21 |
| Capítulo 2: | 41 |
| Artículo 2: Crecimiento y acumulación de biomasa del pasto Cayman (<i>Brachiaria sp</i>) en un sistema silvopastoril | 41 |
| Capítulo 3: | 56 |
| Artículo 3: Variaciones fotosintéticas y contenido relativo de agua del pasto Cayman en un sistema silvopastoril | 56 |
| CONCLUSIONES GENERALES | 81 |
| Constancia de congreso | 87 |
| Constancia de retribución social | 88 |
| | 89 |
| Constancia de estancia | 91 |

RESUMEN GENERAL

El establecimiento de pastos en sistemas silvopastoriles requiere de estudios ecofisiológicos que permitan conocer su aclimatación a los regímenes variables de luz. El objetivo de esta investigación fue evaluar las respuestas ecofisiológicas del pasto Cayman (*Brachiaria* sp.) a pleno sol y bajo la sombra de árboles dispersos. Se diseñó una investigación en condiciones de campo para estudiar las respuestas ecofisiológicas del pasto Cayman a niveles contrastantes de radiación solar. Para ello, se delimitaron cinco bloques de dos parcelas de 2 m² por variante experimental. Se registraron las variaciones de la radiación PAR (Radiación fotosintéticamente activa), la temperatura diurna del aire, la humedad relativa, así como la humedad y temperatura del suelo. Además, se evaluaron variables de crecimiento, concentraciones foliares de clorofilas totales y fluorescencia de la clorofila. Se presentó mayor área foliar y biomasa en raíz, tallo y hojas de las plantas crecidas bajo árboles dispersos. Se observaron daños por fotoinhibición del fotosistema II, a través de la disminución del rendimiento cuántico de la fotoquímica primaria en las plantas crecidas al sol, asociados con disminuciones en la fluorescencia variable (Fv) y el índice de funcionamiento (PI) del PS II. El contenido relativo de agua (CRA) fue ligeramente mayor en las plantas crecidas a pleno sol y disminuyó drásticamente desde las 07:00 hasta las 16:00 horas. La masa foliar específica incrementó a las 12:00 horas para luego decaer en horas de la tarde en la variante de sombra. Por lo cual se demuestra que el pasto Cayman durante el período de establecimiento en un sistema silvopastoril se adapta a las condiciones microclimáticas impuestas por los árboles dispersos.

Palabras claves: Sistemas silvopastoril, microclima, fluorescencia clorofila, Pasto Cayman (*Brachiaria* sp.).

GENERAL ABSTRACT

The establishment of grasses in silvopastoral systems requires ecophysiological studies that allow us to know their acclimatization to variable light regimes. The objective of this research was to evaluate the ecophysiological responses of Cayman grass (*Brachiaria* sp.) in full sun and under the shade of scattered trees. An investigation was designed under field conditions to study the ecophysiological responses of Cayman grass to contrasting levels of solar radiation. To do this, five blocks of two 2 m² plots were delimited per experimental variant. Variations in PAR radiation (Photosynthetically Active Radiation), diurnal air temperature, relative humidity, as well as soil humidity and temperature were recorded. In addition, growth variables were evaluated, as well as leaf concentrations of total chlorophylls and chlorophyll fluorescence. Greater leaf area and biomass accumulation in roots, stems and leaves were observed in plants grown under dispersed trees. Photoinhibition damage to photosystem II was observed, through decreased quantum yield of primary photochemistry in sun-grown plants, associated with decreases in variable fluorescence (F_v) and functioning index (PI) of PS II. The relative water content (RWC) was slightly higher in plants grown in full sun and decreased drastically from 07:00 to 16:00. The specific leaf mass increased at 12:00 hours and then decreased in the afternoon in the shade variant. Therefore, it is demonstrated that Cayman grass during the establishment period in a silvopastoral system adapts to the microclimatic conditions imposed by dispersed trees.

Keywords: Silvoastoril systems, microclimate, chlorophyll fluorescence, Cayman Grass (*Brachiaria* sp.).

INTRODUCCIÓN GENERAL

La cantidad y calidad de radiación disponible afecta numerosos procesos fisiológicos de plantas y animales, y tiene un alto grado de impacto en el funcionamiento general de los ecosistemas (Kohen *et al.* 1995). Por lo que la intensidad de luz promedio, es una parte muy importante para el desarrollo de las plantas (Canham *et al.*, 1994, Kobe 1999). A través de la radiación se derivan múltiples procesos evolutivos de adaptación, para acomodarse a los cambios microclimáticos (Valladares *et al.*, 2003). Aproximadamente 1.3 kW m^{-2} de la energía radiante del sol alcanza la tierra, pero sólo alrededor del 5% de esta energía puede ser utilizada por la planta en el proceso de fotosíntesis. La energía radiante se compone de diferentes longitudes de onda de la luz; sólo los fotones de longitudes de onda de 400 a 700 nm se utilizan el 85 y el 90% de esta densidad de flujo fotónico (DFF) la cual es absorbida por la hoja, y el resto o bien se refleja en la superficie de la hoja o es transmitida a través de la hoja (Murphy *et al.*, 1995). De la luz absorbida, una fracción significativa se pierde como calor, y una cantidad más pequeña se pierde en forma de fluorescencia.

Las plantas desarrollan características foliares diferentes ante tales cambios de DFF: a baja DFF hay un aumento de biomasa, de área foliar (maximizando la superficie fotosintética) y alargamiento de los entrenudos en respuesta a baja disponibilidad lumínica (Gianoli, 2004). Las plantas cultivadas en sombra generalmente presentan hojas más delgadas debido a que el parénquima en empalizada tiene células más pequeñas y/o en menor número de capas (Cuéllar *et al.*, 2010). Estas hojas poseen más clorofila por unidad de masa, mayor cantidad de clorofila b, menores tasas de respiración, menor DFF de saturación, menor cantidad de pigmentos fotoprotectores y por lo tanto una mayor susceptibilidad a fotoinhibición que las hojas expuestas al sol (Walters, 2005; Niinemets, 2007). En contraste cuando las plantas están expuestas a mayor DFF, la cantidad de energía lumínica interceptada puede sobrepasar la capacidad fotosintética de la planta, dando paso a la fotoinhibición (Moraes *et al.*, 2017), proceso caracterizado por una disminución en la eficiencia cuántica máxima del fotosistema II (PSII) (F_v/F_m) y que ocasiona reducciones en A (Osmond, 1994).

Sin embargo, nuestro país se caracteriza por ser un país ganadero, cuenta con grandes áreas donde se desarrollan principalmente las ganaderías bovina, porcina, ovina, caprina y aviar. A nivel nacional se destinan cerca de 110 millones de hectáreas a la actividad ganadera, lo que

representa alrededor de 60 % del territorio nacional (FIRA, 2010), el cual incluye 1,4 millones de ranchos, corrales de engorda, empresas integrales y otras unidades económicas dedicadas principalmente a la producción de ganado bovino, los sistemas de producción van desde altamente tecnificados e integrados hasta los tradicionales (Hernández Martínez *et al.*, 2011). Los principales estados productores de carne de bovino son: Veracruz (13.4 %), Jalisco (11.5 %) y Chiapas (6.1 %) (SAGARPA, 2017).

En la actualidad, la ganadería en las zonas tropicales de México enfrenta serios problemas relacionados con el cambio climático y la degradación del ambiente (SEMARNAT, 2013). El modelo imperante de producción extensiva se caracteriza por la transformación de ecosistemas naturales (selvas y bosques), hacia grandes extensiones de gramíneas en monocultivo (FAO, 2011). Sumado a esto, se presentan problemas de producción insuficiente de forraje, tanto en cantidad como en calidad, para alimentar al ganado durante todo el año y obtener una producción pecuaria rentable (INIFAP, 2008). Es necesario enfatizar que las gramíneas tropicales y subtropicales son la base de la alimentación ganadera en casi toda América Latina, además de estar expuestas a constantes cambios en el clima, son sometidas al sobrepastoreo sin el uso agronómico, por lo tanto los forrajes destinados para los animales son de calidad nutricional de media a baja (proteína, energía y minerales) lo cual está asociado al alto contenido de carbohidratos estructurales, bajo contenido de carbohidratos solubles, contenidos de proteína menor al 7% y digestibilidad menor a 55% (Barahona *et al.*, 2005).

Por lo cual es de suma importancia buscar nuevas alternativas para mejorar la calidad de los alimentos para los animales y de esta manera contribuir a minimizar los impactos de la ganadería sobre el ambiente y los recursos naturales. Una de las alternativas más pertinentes es la asociación de árboles, arbustos y gramíneas forrajeras, que permita mejorar la calidad de la dieta del ganado, incrementar la productividad de los sistemas agropecuarios, ahorrar el uso de fertilizantes nitrogenados y mantener la proporción de los componentes botánicos en espacio y tiempo (Vergara *et al.*, 2016). En este sentido, existe una gran variedad de plantas con potencial de uso para la implementación de arreglos en un SSP, van desde sistemas simples como los árboles dispersos en potrero y las cercas vivas, hasta sistemas intensivos más complejos con alta densidad arbórea o arbustiva para el ramoneo directo (Uribe *et al.*, 2011).

Una buena opción forrajera es el *Brachiaria* híbrido CIAT BR02/1752 cv. Cayman es una especie forrajera de alto valor nutritivo y de alta digestibilidad, única en su género, con amplio potencial para el desarrollo de una ganadería de alto rendimiento. El contenido de proteína en cv. Cayman puede alcanzar niveles mayores al 17% a edad de 15 días, mientras que a edad de 4 y 6 semanas se encontró un 13 y 12 % respectivamente, así lo demuestra un estudio realizado por (Vendramini *et al.*, 2014) en la Universidad de Florida EE. UU). Las plantas del cultivar CIAT BR02/1752 del pasto Cayman para alcanzar un desarrollo, rendimiento y hacer un uso eficiente del agua, no necesariamente requieren de suministros excesivos de agua, pero sí de un buen manejo, (Martín y Cañizares 2018). Además, Martín *et al.* (2018) realizaron investigaciones sometiendo a estrés hídrico el híbrido Caymán, demostrando que las precipitaciones a pesar de ser escasas por debajo de los 5 mm no limitaron el desarrollo el cultivo. Por otra parte, en una investigación realizada en Venezuela el híbrido Cayman mostró capacidad de tolerar las condiciones de anegamiento de los potreros e incrementar su repuesta productiva, tal como ha sido señalado por (Pizarro *et al.*, 2013). Otras de las bondades de este pasto es que no se reportan incidencias de ataques de plagas o enfermedades (Romero y Rivas 2016).

A pesar de que la ganadería en México es una de las actividades más importantes del país no se reportan investigaciones previas al establecimiento de los pastos nuevos en el sistema. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue evaluar las respuestas fisiológicas del pasto Cayman cultivar CIAT BR02/1752 en un sistema silvopastoril, a pleno sol y en árboles dispersos; con la finalidad de determinar condiciones óptimas del crecimiento del pasto.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar las modificaciones producidas por el microclima de un sistema silvopastoril y las respuestas eco-fisiológicas del pasto Cayman (*Brachiaria* sp.) en función de los niveles de exposición solar impuestos por los árboles de sombra.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el microclima de un sistema silvopastoril en función de los niveles de luz impuestos por los árboles de sombra y a plena exposición solar.
2. Estudiar las variaciones en el crecimiento foliar y los patrones de distribución de biomasa en las plantas del pasto Cayman en un sistema silvopastoril.
3. Evaluar la eficiencia fotosintética, las características estomáticas y el contenido hídrico foliar en las plantas del *pasto* Cayman en los diferentes componentes de un sistema Silvopastoril.

Hipótesis

Las características del microclima en un sistema silvopastoril se modifican en función del régimen de radiación solar impuestos por los árboles de sombra e influyen en la eficiencia fotosintética, modificando los patrones de crecimiento, acumulación de biomasa y contenido hídrico foliar del pasto Cayman (*Brachiaria* sp.).

REVISIÓN DE LITERATURA

Los sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles son una combinación de árboles, arbustos forrajeros y pastos con la producción ganadera en la finca, cuyo objetivo es contribuir a mejorar la calidad de los alimentos que consume el ganado durante la época de sequía y reducir los costos de producción, así como conservar el ambiente (Bacab *et al.*, 2013). La actividad silvopastoril se enfoca a optimizar la producción pecuaria, a mejorar la calidad del alimento y a la vez, generar un ingreso adicional por la venta de la madera a través de la plantación de especies que permitan rehabilitar suelos degradados, que sean de rápido crecimiento y que aseguren a los ganaderos competir ventajosamente en su mercado (Trujillo, 2008). Las técnicas silvopastoriles son utilizadas en regiones de diversas condiciones ecológicas, económicas y sociales, en regiones con suelos fértiles los sistemas silvopastoriles pueden ser muy productivos y sostenibles; igualmente, estas prácticas tienen un alto potencial para mantener y mejorar la productividad en áreas que presenten problemas de baja fertilidad y exceso o escasez de humedad de los suelos (Musálem *et al.*, 2002).

Los sistemas silvopastoriles proponen una transformación tecnológica que implique mejoras en los sistemas y que a la vez genere servicios ambientales, mediante el uso y adaptación de prácticas agrícolas mejoradas capaces de almacenar carbono en el suelo y la biomasa aérea; disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso; incremento en la biodiversidad (flora, fauna, hongos y microorganismos); y mantenimiento de fuentes de agua (Bacab *et al.*, 2013).

Interacciones entre componentes en sistemas silvopastoriles

En los silvopastoriles, las leñosas incorporadas en las pasturas conllevan a interferencias que pueden tener efectos benéficos, neutrales o perjudiciales (Ong *et al.*, 1991). La leñosa puede afectar el entorno en forma negativa con respecto a la gramínea, o también de manera positiva. Los ajustes de la planta, con relación a la disponibilidad de luz, incluyen un incremento del área foliar específica y el índice de área foliar, mejor distribución del área foliar con la altura, coeficientes de extinción de luz menores y una reducción en la tasa respiratoria (Silva, 2007).

Sistemas pecuarios tradicionales

La ganadería bovina tropical en México se caracteriza por contar con sistemas de producción con menos intensificación tecnológica, asociado a las condiciones agroclimáticas de las regiones tropicales, predominando la utilización de ganado criollo y sus cruzas con ganado especializado en la producción de leche, cuya fuente de alimentación es principalmente el pastoreo. Por las características planteadas de este sistema de producción, la FAO lo clasifica como de pastoreo (en México se conoce como de Doble Propósito), dado que una parte importante de la materia seca con que se alimenta a los animales se produce en la unidad de producción, y en que las tasas anuales medias de densidad del ganado no superan las diez cabezas por hectárea de tierra agrícola (Espinosa *et al.*, 2010). Además, Espinosa *et al.*, (2010), mencionan que el sistema de producción predominante en el trópico mexicano es el de doble propósito (DP). El cual ha sido descrito, como una variación del sistema mixto agricultura-ganadería, con una parte de pastoreo en praderas nativas y residuos de cultivos en tierras de uso comunal, en el contexto de una producción ganadera multifuncional.

En los sistemas pecuarios tradicionales, el uso de prácticas inadecuadas, como el sobrepastoreo y la quema, han conducido a la degradación de los recursos naturales (degradación de pasturas y suelos, contaminación de fuentes de agua, pérdida de biodiversidad) (Sarabia-Salgado *et al.*, 2013). Por ello, cada año la vegetación natural o secundaria se convierte en zonas altamente perturbadas, principalmente en las zonas del sureste mexicano donde se practica la agricultura itinerante (Rossner *et al.*, 2013). Los pastos de mayor demanda en el estado de Chiapas son los siguientes: pasto estrella (*C. nlemfuensis*), llanero (*Brachiaria dictyoneura*), jaragua (*Hyparrhenia rufa*), taiwán (*Pennisetum sp*), Tanzania (*Megathyrsus maximus*), bermuda (*Cynodon dactylon*), e insurgente (*Brachiaria Brizantha*), entre otras, de las cuales se caracterizan por tener un contenido bajo de proteína (Pinto *et al.*, 2014). Debido a no satisfacer al ganado por tener baja calidad como gramíneas forrajeras, los productores tienen la necesidad de ofrecer suplementos o introducir nuevos pastos.

Antecedentes Cayman (*Braquiaria sp.*)

El pasto Cayman (BR02/1752 cv. Cayman) híbrido del género *Brachiaria* nueva generación, propiedad de Grupo Papalotla, el cual fue seleccionado apartir del cuarto ciclo, de la progenie de la cruza de plantas tetraploides, sintéticas con una planta apomítica (*Brachiaria brizantha*).

A partir del 2006 se empezaron a realizar las primeras evaluaciones en el CIPAT (Centro de Investigación de Pastos Tropicales) de Oaxaca, correspondientes a tolerancia a inundación, rendimiento forrajero, persistencia y dosis de fertilización. El cv. Cayman es una especie de *Brachiaria* adaptado a climas tropicales secos y húmedos, a alturas que van del nivel del mar hasta 1500 msnm, además es el primer híbrido de este género tolerante a inundación y saturación del suelo. Es importante que al momento de la siembra del pasto necesita suelos secos, sin exceso de agua, es por ello que se recomienda la siembra antes de la temporada de lluvias, para que la planta tenga un buen desarrollo en la etapa juvenil. Sin embargo, el mayor efecto de tolerancia a suelos saturados fue observada cuando, la planta está completamente desarrollada ya que a mayor crecimiento la planta tolera más saturación de agua. Pruebas realizadas en el CIPAT-Oaxaca, mediante el uso de macetas herméticas saturadas artificialmente durante 21, 41 y 55 días de inundación, se observó que el cv. Cayman y *B. humidicola* fueron los únicos materiales que toleraron estas condiciones. Uno de los factores claves de esta especie tolerante a inundaciones, es la alta producción de raíces adventicias que emergen de los nudos de la planta, característica que le permite sobrevivir a condiciones de alta saturación de humedad, la cual es usada también para propagarse por el suelo, llevando a crear praderas compactas y más productivas, que llegan alcanzar el 100% de cobertura.

Radiación solar en las plantas

La radiación solar es la energía en forma de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. Donde el espectro de radiación electromagnética se caracteriza por ondas de distinta longitud de onda (λ) y frecuencia (ν). La radiación visible o luz, también llamada radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés), representa una parte del espectro de radiación, con una longitud de onda entre 400 y 700 nm, la cual es aprovechable para las plantas, el resto de la energía solar que incide sobre la superficie terrestre está conformado por la radiación infrarroja y radiación ultravioleta (AzcónBieto y Talón, 2008). Alta intensidad de radiación solar implica alta intensidad lumínica o alta radiación PAR. La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre puede ser reflejada o absorbida por las moléculas. Un fotón absorbido, según su energía (o frecuencia), puede ionizar átomos, excitar electrones, disociar o hacer vibrar una molécula. A mayor energía (mayor frecuencia o menor longitud de onda) el cambio que produce en los átomos es mayor. La energía de un fotón que es utilizada para

impulsar una transformación física o química en una molécula se denomina energía de excitación o excitón (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

La radiación solar es la fuente de energía de prácticamente todos los procesos fisiológicos y biológicos que ocurren en la naturaleza, residiendo el mayor peso en la agricultura (Russell *et al.*, 1989).

Existen diferentes tipos de radiación solar entre las cuales se toman encuentran las siguientes:

Radiación directa:

Es aquel tipo de radiación que llega directamente del Sol a la superficie de la Tierra sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación tiene la característica de proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan (Duffie & Beckman, 2013).

Radiación difusa

Es la que llega a una superficie después de sufrir múltiples desviaciones en su trayectoria al atravesar la atmósfera, o después de ser reflejada en múltiples direcciones por las superficies donde previamente haya incidido (Duffie & Beckman, 2013). Las gramíneas forrajeras tropicales con vía fotosintética C4, alcanzan su máxima producción con niveles altos de intensidad lumínica, baja foto respiración y tasas fotosintéticas mayores (Sage y Pearcy, 2000). La modificación de la intensidad y calidad de la radiación solar que llega al componente herbáceo debido a la presencia del dosel arbóreo genera cambios en la morfología, anatomía y la composición química del forraje (Hernández y Guenni, 2008).

Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas, algas, cianobacterias y bacterias fotosintéticas convierten la energía luminosa en energía química en forma de enlaces químicos y es la base de todas las cadenas alimenticias de las que depende la vida animal y humana. El proceso fotosintético se inicia cuando la luz es absorbida por los pigmentos fotosintéticos (básicamente clorofila a, b y carotenoides) de los complejos antena de la membrana fotosintética. Parte de la energía absorbida es transferida como energía de excitación y atrapada por el centro de reacción, en donde es utilizada para hacer trabajo químicamente útil, y la otra parte es disipada principalmente como calor y en menor grado re-emitida como energía luminosa de menor energía (fluorescencia). Esta distribución de la energía en los tres procesos

ocurre simultáneamente, de tal forma que el incremento en la eficiencia de uno de ellos, resultará en la disminución de los otros dos. Por lo tanto, a través de la medición del rendimiento de la fluorescencia de la clorofila se puede obtener información de la eficiencia fotoquímica y la disipación térmica de la energía absorbida. En los complejos antena, la energía de un fotón absorbido se suma a la de la molécula de pigmento que la absorbe, quedando ésta en un estado excitado inestable, con marcada tendencia a ceder este exceso de energía denominado energía de excitación o excitón y volver al estado fundamental de energía mínima. (Campbell y Reece, 2007).

La fotosíntesis es el único mecanismo de entrada de energía para la biosfera (con excepción de los procesos que realizan algunas bacterias quimio-sintéticas que obtienen energía de la oxidación de sustratos inorgánicos). La fotosíntesis incluye reacciones de óxido-reducción. Básicamente en el proceso de oxidación la molécula de agua libera electrones con producción de oxígeno y la reducción del dióxido de carbono para formar carbohidratos (Salisbury y Ross, 1994). La fotosíntesis es importante para el hombre, entre otros aspectos, porque mediante ella se producen alimentos y oxígeno (Barceló *et al.*, 1983). Pero, además, de forma directa o indirecta ella alimenta casi la totalidad del mundo vivo en el planeta (Campbell y Reece, 2007).

La fotosíntesis ocurre en dos etapas: las reacciones dependientes de la luz y las reacciones que fijan carbono. En las reacciones dependientes de la luz, la absorción de la energía lumínica por las moléculas de clorofila en la membrana de los tilacoides inicia un transporte de electrones y la formación de un gradiente de protones a partir del cual se produce ATP. Durante este proceso, la molécula de agua se escinde y se liberan moléculas de oxígeno gaseoso. Los electrones son finalmente absorbidos por el NADP⁺ y se forma NADPH. En las reacciones que fijan carbono, que ocurren en el estroma del cloroplasto, se sintetizan glúcidos a partir del CO₂ y el hidrógeno que transporta el NADPH. Este proceso utiliza la energía del ATP y el NADPH producidos en la etapa dependiente de la luz y, como veremos más adelante, implica una serie de reacciones que constituyen el ciclo de Calvin (Curtis y Barnes 2008). Fase luminosa, en esta etapa, la luz solar llega hasta los cloroplastos, de forma que las clorofilas convierten esta energía en energía química. La energía química y poder reductor acumulados serán fundamentales para la siguiente fase. La energía que se genera proviene de la rotura de la molécula de agua (H₂O), de forma que libera oxígeno (O₂) a la atmósfera y aprovecha los protones de hidrógeno (4H⁺) generados que

serán los que dentro de la maquinaria celular acaben dando lugar a otra molécula llamada ATP, que es la forma en la que la célula acumula la energía (Cordero *et al.*, 2020).

La fase oscura de la fotosíntesis es un proceso complejo donde NADPH y ATP se usan para producir moléculas de carbohidratos (o azúcares). La energía que la planta obtuvo durante la fase luminosa es usada para sintetizar la glucosa a partir del agua y el dióxido de carbono captado de la atmósfera terrestre. Se le llama fase oscura porque a diferencia de la anterior, no necesita la luz solar. La enzima RuBisCO captura el dióxido de carbono de la atmósfera y en otro proceso llamado ciclo de Calvin, usa el NADPH y el ATP creados en la fase luminosa y libera azúcares de tres carbonos que pueden convertirse luego en sacarosa o almidón. Se utilizan seis moléculas de dióxido de Carbono para generar una molécula de Glucosa (Cordero *et al.*, 2020). El nombre de fase "oscura" de la fotosíntesis puede prestarse a confusión, ya que las reacciones de esta etapa ocurren en todo momento, de día o de noche. El adjetivo se refiere a que las reacciones químicas que suceden en esta etapa son independientes de la luz; sin embargo, sí requiere de dos moléculas producidas en la fase luminosa: el ATP y el NADPH (poder reductor). Estos dos compuestos se utilizan para fijar el CO₂ de la atmósfera (incorporándolo en moléculas orgánicas presentes en la planta) y producir carbohidratos simples en el estroma (Cordero *et al.*, 2020).

Fluorescencia de la clorofila

Permite aproximarse al desempeño fotosintético y al estado del aparato fotosintético a nivel del fotosistema II y proviene del hecho de que la luz que absorbe la clorofila de la hoja puede tomar tres vías distintas; ser direccionada al fotosistema II para realizar fotosíntesis, ser liberada en forma de calor ó ser reemitida en una longitud de onda mayor como fluorescencia (Maxwell y Johnson 2000). Esto se debe a que de la totalidad de la luz que absorbe la hoja, solo una parte de la luz que excita electrones puede ser recibida por la plastoquinona (primer aceptor de electrones del fotosistema II) y el resto de la energía será llevada a las otras dos vías. Por tanto, cuando el pool de plastoquinona se reduce en su totalidad se dice que los centros de reacción están cerrados y aumenta tanto el nivel de fluorescencia, como la disipación de la luz por calor; en este caso se habla de una desviación no fotoquímica de la luz (Krause y Weiss 1991; Maxwell y Johnson, 2000; Baker, 2008). La medida de la fluorescencia se posibilita por la competencia directa entre las tres vías. La fluorescencia se mide por medio del fluorómetro, que es un equipo

no invasivo; la medida se obtiene a partir de la programación de flashes de luz saturantes que generan la consecuente respuesta fluorescente instantánea en la hoja, la cual es detectada por el equipo. Por medio de niveles diferentes de fluorescencia, obtenidos a partir de la aplicación de dichos flashes de luz se pueden obtener variados parámetros de los cuales se obtiene información. El proceso para medir los valores de fluorescencia se inicia con la obtención de la fluorescencia mínima F_0 a partir de la aplicación de luz mínima a la hoja. Posteriormente, se puede aplicar un haz de luz saturante actínica (fotosintética) que da lugar a la fluorescencia máxima (F_m) disminuyendo la contribución fotoquímica a cero a partir del cierre de los centros de reacción (Quick y Horton 1984). Por medio de la diferencia entre la F_0 y la F_m , se obtiene la fluorescencia variable, F_v . Una vez la fluorescencia ha disminuido después del flash saturante de luz se obtiene la fluorescencia en estado estable de la clorofila (F_t o F_s). Esta disminución de la fluorescencia se da porque aumenta la tasa de transporte de electrones por activación de enzimas involucradas en el metabolismo de carbono y la apertura de estomas, hecho conocido como desviación fotoquímica (Maxwell y Johnson, 2000; Baker, 2008). Estos valores se pueden obtener en hojas o plantas adaptadas a oscuridad, o en estado adaptado a la luz, en presencia de luz actínica (fotosintética) en cuyo caso se simboliza con una prima después del parámetro. Por ejemplo, F_m' significa que es la fluorescencia máxima de una hoja o planta bajo luz actínica constante. La obtención de estos valores bajo luz actínica se realiza con fluorómetros con posibilidad de aplicar flashes de amplitud y frecuencia modulada de tal manera que sólo la fluorescencia emitida gracias a esa amplitud fuera detectada; se detecta la fluorescencia modulada antes de la aplicación de un flash saturante (establecido por el investigador) y la fluorescencia máxima durante el flash (Schreiber *et ál.*, 1996; Genty *et ál.*, 1989). En el caso de fluorómetro no modulados solo es posible realizar mediciones en hojas adaptadas a oscuridad.

Transpiración

La transpiración es un determinante primario del balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta. Este proceso comprende la evaporación del agua desde las células superficiales en el interior de los espacios intercelulares y su difusión fuera del tejido vegetal principalmente a través de las estomas y en menor medida a través de la cutícula y las lenticelas. Junto al intercambio de dióxido de carbono (CO_2), determina la eficiencia de uso del agua de una planta. Las hojas pierden agua a través de sus estomas como una consecuencia de la actividad fotosintética de las células del mesófilo. Las estomas ejercen el mayor control de corto plazo en

las relaciones hídricas de una planta debido a que controlan la salida de agua que ocurre en respuesta a un fuerte gradiente de diferencia de presión de vapor (DPV) entre el aire y la hoja. Tanto la absorción desde suelo por la raíz como la transpiración por las hojas, ejercen un control primario en la regulación de la conductancia estomática. El flujo de agua a través de la planta responde entonces a dos ambientes distintos. Por un lado, el ambiente aéreo a que está expuesta la hoja y que puede ser definido en términos de radiación, temperatura, diferencia de presión de vapor, contenido de CO₂ y condición de la capa límite. Por otro lado, las raíces comúnmente generan señales de estrés hídrico, las que sumadas a las señales en la conductividad (Azcon-Bieto & Talón, 2008).

Capítulo 1:

**Artículo 1: Caracterización
del microclima de un sistema
silvopastoril**

CARACTERIZACIÓN DEL MICROCLIMA EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS

CHARACTERIZATION OF THE MICROCLIMATE IN A SILVOPASTORAL SYSTEM IN THE FRAILESCA REGION, CHIAPAS

César Iván Vázquez-Ramos¹, Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi^{2*}, Miguel Ángel Salas-Marina², Wel Olveín Cruz-Macías²

¹ Estudiante de la Maestría en Ciencias Agroforestales, Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (cesar.vazquez@e.unicach.mx)

² Cuerpo Académico Agroforestería y Desarrollo Rural, Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (alfredo.rodriguez@unicach.mx, miguel.salas@unicach.mx, wel.cruz@unicach.mx).

* Autor de correspondencia: alfredo.rodriguez@unicach.mx

SUMMARY

Background. The presence of the tree component over the herbaceous stratum in a silvopastoral system modifies the microclimate, with implications on pasture growth. **Objective.** To characterize the microclimate of a silvopastoral system composed of hybrid *Brachiaria* grass cv. CIAT BRO2/1752, under scattered trees and full sun exposure. **Methodology.** An experimental procedure was followed under field conditions with two experimental variants: pasture grown in full sun and pasture grown under the shade of scattered trees from July 2022 to February 2023. Microclimatic variables were evaluated: diurnal air temperature (°C), relative humidity (%), photosynthetically active radiation (PAR), soil moisture and soil temperature. **Results.** Scattered trees attenuated 90% of the incident solar radiation, while in full sun there was a 1.2 °C increase in temperature compared to the variant under scattered trees. There were no significant differences in relative air humidity. Soil moisture was 5.6% higher in full sun and vapor pressure deficit (VDP) was lower in full sun. **Conclusions.** Trees dispersed in a silvopastoral system modify the microclimate by attenuating the intensity of solar radiation and decreasing the diurnal air temperature, although higher soil moisture values are maintained in full sun than under tree shade.

Key words: Photosynthetic Active radiation, Silvopastoral System, Microclimate

RESUMEN

Antecedentes. La presencia del componente arbóreo sobre el estrato herbáceo en un sistema silvopastoril modifica el microclima, con implicaciones en el crecimiento de los pastos.

Objetivo. Caracterizar el microclima de un sistema silvopastoril compuesto por pasto *Brachiaria* híbrido cv. CIAT BRO2/1752, bajo árboles dispersos y a plena exposición solar.

Metodología. Se siguió un procedimiento experimental en condiciones de campo con dos variantes experimentales: pasto crecido a pleno sol y pasto crecido bajo sombra de árboles dispersos desde julio 2022 a febrero 2023. Se evaluaron variables micro climáticas: temperatura diurna del aire (°C), humedad relativa (%), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad y temperatura del suelo.

Resultados. Los árboles dispersos atenuaron el 90% de la radiación solar incidente, mientras que a pleno sol se registraron incrementos de 1.2 °C de temperatura en comparación con la variante bajo árboles dispersos. No se registraron diferencias significativas en la humedad relativa del aire. La humedad del suelo fue 5.6% mayor a pleno sol y el déficit de presión de vapor (DPV) fue menor a plena exposición solar.

Conclusiones. Los árboles dispersos en un sistema silvopastoril modifican el microclima atenuando la intensidad de la radiación solar y disminuyendo la temperatura diurna del aire, aunque a pleno sol se mantienen valores de humedad del suelo superiores que bajo la sombra de los árboles.

Palabras clave: Radiación Fotosintéticamente Activa, Sistema silvopastoril, Microclima.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales (SAF) son un conjunto de técnicas y prácticas que posibilitan un mejor uso y manejo de los recursos naturales. Estos sistemas combinan, en la misma área, especies leñosas (árboles y arbustos), con cultivos agrícolas y animales. Cuentan con un arreglo del espacio que se puede modificar en el tiempo (Mantagnini, 1992). Incrementar la presencia de árboles, bajo diferentes arreglos espaciales, produce beneficios, que mejoran y rescatan la capacidad productiva de los ecosistemas, contrarrestando los efectos adversos del clima sobre los animales y atenuar los efectos de las altas temperaturas sobre los cultivos asociados, debido la regulación que ejercen los árboles sobre el microclima (Gutiérrez, 2003). Dentro de los SAF,

se destacan los sistemas silvopastoriles (SSP), ya sea bajo un arreglo específico de árboles y pastos o simplemente la disposición aleatoria de árboles dispersos en el pastizal. Algunos reportes indican que, en estos sistemas, la sombra de los árboles influye en la producción del estrato herbáceo (Peri, 2005). La cantidad de radiación fotosintéticamente activa o (radiación PAR por sus siglas en inglés) disponible para el estrato herbáceo en un SSP, es el factor más decisivo para su sostenibilidad (García *et al.* 2001). Dado que el componente arbóreo genera cambios en la temperatura del aire, a mayor densidad arbórea ocurre una disminución en la amplitud térmica, atenuando las temperaturas extremas en temporada de estiaje, y mayores en meses fríos (Munka, 2017).

En este sentido, Lucero-Ignamarca *et al.*, (2019) mencionan el efecto de los árboles sobre la pradera depende de varios factores y de cómo estos se interrelacionan entre sí. Entre estos factores se pueden mencionar las características ecofisiológicas de los árboles y los pastos, las rutas metabólicas de la fotosíntesis de las especies utilizadas y la disponibilidad de luz, agua y nutrientes, entre otros (Schcasoles y Archer, 1997).

Entre los efectos que produce la cobertura de árboles dispersos en SSP se pueden mencionar la atenuación de la radiación solar, la modificación de los regímenes de temperatura y humedad relativa (HR), así como efectos en la humedad y temperatura del suelo. En estudios realizados en Chile por Lucero-Ignamarca *et al.* (2019) se encontró que diferentes arreglos espaciales con árboles de *Acacia caven*, la humedad relativa (HR) resultó ser mayor en el tratamiento de mayor cobertura arbórea, lo que puede asociarse con un efecto favorable por la presencia de árboles, en comparación con el tratamiento sin árboles, que presenta los menores valores de HR. La humedad del suelo, en general, presentó valores relativamente constantes en todos los tratamientos, aunque los tratamientos con árboles presentaron mayores valores. En plantaciones de cafetos al sol y bajo sombra se encontró que los valores medios de la temperatura diurna del aire con frecuencia sobrepasan los 24° C, principalmente al sol y no se registraron valores del déficit de presión de vapor superiores a 1.5 kPa. Los niveles de humedad del suelo fueron sistemáticamente superiores al sol, y la diferencia entre esta variante y la media general del área se correlacionó significativamente con este último valor (Velasco *et al.*, 2001)

A pesar de que la ganadería en México es una de las actividades agropecuarias más importantes del país, la información sobre el efecto de los árboles dispersos en el microclima en un SSP es

escasa. Es por ello que el objetivo del trabajo fue la caracterización del microclima en un sistema silvopastoril bajo árboles dispersos en comparación con el pasto CAYMAN (*Brachiaria* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) a plena exposición solar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó una investigación de tipo experimental en condiciones de campo para estudiar las respuestas ecofisiológicas del pasto CAYMAN (*Brachiaria* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) a niveles contrastantes de radiación solar. El experimento se encuentra ubicado en la colonia Valle Morelos del Municipio de Villa Corzo, Chiapas, México, a una altitud de 560 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas 16°36'5" N y 92°59'48" W. El área de estudio cuenta con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de entre 14-26 °C (INEGI, 2010). Las características fisicoquímicas del suelo en ambas variantes experimentales se describen en la Tabla 1 y 2.

Tabla 1. Contenido de macro y micronutrientes en el suelo en ambas variantes experimentales.

| Variante experimental | MO (%) | P (Bray) | K | Ca | Mg | Na | Fe | Zn | Mn | Cu | B | Al | S |
|-----------------------|--------|----------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| ppm | | | | | | | | | | | | | |
| Pleno sol | 1.2 | 4.30 | 51.70 | 537.00 | 236.00 | 51.90 | 91.90 | 77.40 | 4.64 | 0.83 | 0.13 | 3.63 | 0.10 |
| Árboles dispersos | 1.93 | 4.07 | 51.40 | 500.00 | 183.00 | 25.00 | 97.90 | 15.70 | 11.80 | 0.48 | 0.15 | 8.26 | 0.10 |

Tabla 2. Propiedades físicas del suelo en ambas variantes experimentales.

| Variante experimental | Punto de saturación (%) | Capacidad de campo (%) | Punto Marchitez. Permanente. (%) | Conductividad. Hidráulica (cm/h) | Densidad Aparente (g/cm ³) | pH |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|----|
| | | | | | | |

| | | | | | | |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| Pleno sol | 25.2 | 13.2 | 7.85 | 0.10 | 1.38 | 6.48 |
| Árboles dispersos | 31.00 | 16.4 | 9.76 | 6.00 | 1.33 | 6.12 |

Los resultados del análisis de suelo a pleno sol revelaron pH moderadamente ácido con moderada capacidad de retención de agua y nutrientes. Libre de carbonatos y de sales, bajo nivel de calcio y pobre en fósforo disponible. Deficiente en potasio y con muy bajo contenido de azufre. En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes, el suelo posee alto contenido de zinc, moderadamente bajo en manganeso y muy pobre en boro (Tabla 1 y 2).

Bajo los árboles dispersos el suelo mostró pH moderadamente ácido, de textura media. Libre de carbonatos y de sales. Muy bajo nivel de calcio, pobre en fósforo disponible y deficiente en potasio; muy bajo contenido de azufre, elevado contenido de zinc, bajo contenido de cobre y muy pobre en boro (Tabla 1 y 2).

Diseño experimental

En un sistema silvopastoril de una hectárea de superficie, se delimitaron cinco bloques al azar de 2 x 2 m por variante experimental conformadas por pasto bajo árboles dispersos (sistema silvopastoril) y a plena exposición solar. Los árboles de sombra predominantes fueron *Guazuma ulmifolia* Lam, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Poeppigia procera* (Poepp. ex Spreng.) y *Calycophyllum candidissimum* (Vahl) DC., dispersos dentro del sistema con promedio de edad, diámetro de la copa y diámetro a la altura del pecho (DAP) de 16 años, 48 cm y 8 m respectivamente.

Variables medidas

Densidad del flujo fotónico fotosintético (RFA).

Para determinar la densidad del flujo fotónico fotosintético ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), se realizaron las mediciones desde 6:00 hasta las 17:00, registrándose los valores dentro del rango de longitud de onda de 400-700 nm (Radiación Fotosintéticamente Activa, RFA). El sensor del equipo (Sensor Quantum Flux, Apogee Instruments®) se colocó en el centro de la parcela a un metro por encima del nivel del suelo y a 1.5 m del tronco de los árboles de sombra. Para registrar la

RFA a plena exposición solar el sensor se colocó en el centro de las parcelas expuestas evitando el efecto de la sombra proyectada por los árboles. Las mediciones se realizaron en intervalos de 30 minutos, tres días de cada mes en cada bloque de cada una de las variantes experimentales, siguiendo el procedimiento reportado por Velasco *et al.* (2001).

Humedad relativa y temperatura del aire

Los datos de temperatura diurna del aire (° C) y humedad relativa (%) se registraron tres días de cada mes desde las 06:00 hasta las 17:00 horas a intervalos de 30 minutos, colocando una microestación climática WatchDog® en el centro de cada bloque por cada variante experimental a una altura de un metro por encima del nivel del suelo

Déficit de presión de vapor (DPV)

El déficit de presión de vapor se calculó con los registros de temperatura y humedad relativa a través de la siguiente fórmula:

$$DPV = e_s \cdot (100 - HR) / 100$$

Donde:

HR = Humedad relativa

e_s es la Presión de vapor de agua a saturación a una temperatura del aire dada

$$e_s = 0.6108 \cdot \exp\left(\frac{17.27 T}{T + 2373}\right)$$

T = temperatura diurna

Humedad y temperatura del suelo

En el centro de cada bloque, a 1.5 m de distancia del tronco de los árboles de sombra y a una profundidad de 20 cm se colocó el sensor de un medidor de temperatura, humedad del suelo y conductividad eléctrica ProCheck®. Los registros en la variante expuesta a plena exposición solar se tomaron a la misma profundidad en el centro de cada parcela. Los registros se realizaron desde las 06:00 hasta las 17:00 horas a intervalos de 30 minutos durante tres días de cada mes.

Análisis estadístico

Para comprobar la hipótesis de las diferencias significativas de las variables del microclima entre las variantes experimentales (bajo árboles dispersos y a pleno sol) se aplicaron pruebas de T de Student. Previamente, se comprobaron los supuestos de normalidad de los datos y homogeneidad de varianza. Se usó el software STATISTICA®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variaciones estacionales del microclima

Radiación fotosintéticamente activa (RFA)

La radiación fotosintéticamente activa (RFA), fue estadísticamente superior a pleno sol en comparación con la variante de árboles dispersos durante todo el período evaluado (Tabla 3). Las diferencias registradas en el promedio anual de la RFA a plena exposición solar y bajo la sombra de los árboles demuestran que los árboles dispersos en un sistema silvopastoril atenúa el 90 % de la RFA disponible para el estrato herbáceo. El mayor registro fue en el mes de abril, tanto a plena exposición solar como a la sombra; mientras que los menores valores se registraron en febrero (Tabla 3). El efecto de la sombra de los árboles sobre la RFA fue reportado por Macedo-Pezzopane *et al.* (2015), quienes demostraron que los árboles pueden atenuar el 40 % del total de la radiación incidente a pleno sol y que estas variaciones pueden producirse tanto en los promedios de RFA, como en los registros diarios y pueden incidir en la temperatura bajo sombra y a pleno sol. Según Feldhake y Belesky (2009) encontraron que la presencia de los árboles se considera como un aspecto negativo para el crecimiento y desarrollo de los pastos, ya que en el sistema silvopastoril se reduce la cantidad y calidad de la RFA. Para Lin *et al.* (2001), el sombreado de los árboles afecta significativamente el desarrollo y crecimiento de los pastos, ya que están sometidos a condiciones totalmente limitadas por ser especies C4, de ahí lo relevante de estos estudios para profundizar en las respuestas fisiológicas del pasto a los cambios en la RFA.

Tabla 3. Variaciones mensuales de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura del aire y humedad relativa a pleno sol y bajo los árboles dispersos.

| Meses | Variables | Pleno sol | Desviación estándar | Árboles dispersos | Desviación Estándar | t de Student | p |
|-------|-----------|-----------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------|---|
|-------|-----------|-----------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------|---|

| | | | | | | | |
|------------|--|----------|---------|---------|---------|--------|-------|
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 1232.246 | 804.347 | 135.043 | 182.041 | 24.712 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire ($^{\circ}\text{C}$) | 30.148 | 5.306 | 29.214 | 5.161 | 2.345 | 0.019 |
| Julio | Humedad Relativa (%) | 69.997 | 11.952 | 71.711 | 11.044 | -1.956 | 0.051 |
| 2022 | Humedad suelo (%) | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| | Temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 0.730 | 0.024 | 0.660 | 0.024 | 4.439 | 0.002 |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 1174.352 | 835.821 | 117.296 | 143.356 | 18.904 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire ($^{\circ}\text{C}$) | 30.583 | 5.473 | 29.211 | 4.804 | 2.856 | 0.004 |
| Agosto | Humedad Relativa (%) | 74.120 | 12.860 | 76.819 | 9.706 | -2.541 | 0.011 |
| 2022 | Humedad suelo (%) | 41.345 | 13.419 | 37.327 | 11.756 | 3.416 | 0.001 |
| | Temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) | 41.157 | 13.515 | 38.173 | 11.896 | 2.513 | 0.012 |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 0.640 | 0.019 | 0.540 | 0.015 | 9.053 | 0.000 |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 795.968 | 577.673 | 93.228 | 73.625 | 22.414 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire ($^{\circ}\text{C}$) | 27.887 | 3.679 | 27.008 | 3.516 | 3.208 | 0.001 |
| Septiembre | Humedad Relativa (%) | 77.458 | 6.592 | 77.552 | 6.076 | -0.195 | 0.846 |
| 2022 | Humedad suelo (%) | 65.631 | 10.327 | 61.270 | 7.526 | 5.176 | 0.000 |
| | Temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) | 26.883 | 2.273 | 25.718 | 1.948 | 5.903 | 0.000 |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 0.500 | 0.003 | 0.480 | 0.004 | 9.634 | 0.000 |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 835.770 | 695.110 | 75.183 | 62.995 | 16.527 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire ($^{\circ}\text{C}$) | 27.580 | 4.283 | 26.188 | 3.399 | 3.861 | 0.000 |
| Octubre | Humedad Relativa (%) | 76.448 | 5.850 | 75.840 | 5.321 | 1.166 | 0.244 |
| 2022 | Humedad suelo (%) | 45.664 | 17.368 | 40.016 | 16.827 | 3.542 | 0.000 |
| | Temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) | 27.730 | 3.778 | 26.265 | 3.334 | 4.408 | 0.000 |

| | | | | | | | |
|-----------|--|----------|---------|---------|---------|--------|-------|
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 0.520 | 0.006 | 0.500 | 0.003 | 5.586 | 0.001 |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 1210.762 | 778.701 | 86.504 | 107.556 | 26.564 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire ($^{\circ}\text{C}$) | 28.840 | 4.847 | 27.076 | 4.169 | 5.126 | 0.000 |
| Noviembre | Humedad Relativa (%) | 69.636 | 9.036 | 68.839 | 8.624 | 1.184 | 0.237 |
| 2022 | Humedad suelo (%) | 34.033 | 15.006 | 24.621 | 15.839 | 8.013 | 0.000 |
| | Temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) | 26.707 | 4.286 | 24.001 | 3.101 | 9.502 | 0.000 |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 0.700 | 0.003 | 0.670 | 0.008 | 8.283 | 0.000 |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 539.920 | 480.419 | 76.275 | 59.680 | 17.789 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire ($^{\circ}\text{C}$) | 25.913 | 3.582 | 25.139 | 3.358 | 2.928 | 0.004 |
| Diciembre | Humedad Relativa (%) | 73.283 | 6.824 | 72.986 | 6.011 | 0.607 | 0.544 |
| 2022 | Humedad suelo (%) | 33.212 | 19.131 | 27.940 | 20.495 | 3.493 | 0.001 |
| | Temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) | 24.838 | 1.924 | 23.896 | 1.662 | 6.886 | 0.000 |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 0.550 | 0.001 | 0.530 | 0.002 | 13.445 | 0.000 |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 1073.458 | 672.426 | 121.464 | 110.110 | 25.951 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire ($^{\circ}\text{C}$) | 27.599 | 5.601 | 26.658 | 5.401 | 2.247 | 0.025 |
| Enero | Humedad Relativa (%) | 62.701 | 10.332 | 63.332 | 10.237 | -0.807 | 0.420 |
| 2023 | Humedad suelo (%) | 10.963 | 4.083 | 8.399 | 11.316 | 2.653 | 0.008 |
| | Temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) | 25.414 | 6.405 | 24.741 | 5.775 | 0.971 | 0.332 |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 0.820 | 0.002 | 0.730 | 0.001 | 41.735 | 0.000 |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 379.600 | 344.727 | 69.357 | 39.171 | 9.589 | 0.000 |
| Febrero | Temperatura diurna del aire ($^{\circ}\text{C}$) | 24.134 | 2.558 | 23.235 | 2.595 | 2.644 | 0.009 |
| 2023 | Humedad Relativa (%) | 61.101 | 5.042 | 61.269 | 6.886 | -0.211 | 0.833 |

| | | | | | | | |
|----------|--|----------|---------|---------|---------|--------|-------|
| | Humedad suelo (%) | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| | Temperatura del suelo (°C) | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 0.740 | 0.001 | 0.710 | 0.002 | 24.986 | 0.000 |
| <hr/> | | | | | | | |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 732.130 | 576.878 | 135.687 | 90.300 | 10.954 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire (°C) | 30.343 | 2.674 | 29.664 | 2.496 | 1.992 | 0.048 |
| Marzo | Humedad Relativa (%) | 56.523 | 7.085 | 57.544 | 6.712 | -1.122 | 0.263 |
| 2023 | Humedad suelo (%) | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| | Temperatura del suelo (°C) | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 1.070 | 0.001 | 1.010 | 0.002 | 55.978 | 0.000 |
| <hr/> | | | | | | | |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 1310.783 | 586.328 | 483.343 | 311.963 | 18.894 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire (°C) | 32.000 | 5.450 | 30.587 | 5.566 | 2.751 | 0.006 |
| Abril | Humedad Relativa (%) | 49.754 | 6.116 | 52.106 | 7.341 | -3.733 | 0.000 |
| 2023 | Humedad suelo (%) | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| | Temperatura del suelo (°C) | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 1.320 | 0.002 | 1.190 | 0.003 | 91.030 | 0.000 |
| <hr/> | | | | | | | |
| | RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 970.026 | 725.183 | 134.532 | 177.829 | 57.548 | 0.000 |
| | Temperatura diurna del aire (°C) | 28.520 | 5.047 | 27.398 | 4.724 | 8.349 | 0.000 |
| Promedio | Humedad Relativa (%) | 68.587 | 12.014 | 69.200 | 11.278 | -1.915 | 0.056 |
| general | Humedad suelo (%) | 39.092 | 20.698 | 33.431 | 21.147 | 7.496 | 0.000 |
| | Temperatura del suelo (°C) | 28.501 | 8.273 | 26.772 | 7.292 | 6.143 | 0.000 |
| | Déficit de presión de vapor(kP) | 0.760 | 0.250 | 0.710 | 0.220 | 1.076 | 0.284 |

SD= Sin datos disponible

Temperatura diurna del aire

Durante todos los meses, los registros de temperatura diurna del aire fueron superiores a plena exposición solar. Los promedios anuales registrados en ambas variantes demostraron que a pleno sol las temperaturas pueden llegar a ser 1.2 °C mayores que bajo la sombra de los árboles dispersos. El mayor registro de la temperatura a plena exposición solar y bajo sombra se presentó en el mes de abril y el menor en el mes de febrero (Tabla 3). El efecto de la cubierta vegetal de los árboles de sombra sobre la temperatura en diferentes ecosistemas ha sido documentado en pequeñas plantaciones experimentales de café (Velasco *et al.*, 2001); y si bien es cierto que los resultados no son consistentes, algunos autores afirman que las variaciones en la temperatura al sol y bajo la sombra de los árboles está relacionada con el balance de la radiación solar (Rovira y Velazco, 2008). Britto-Ferreira, (2010) por su parte reportaron que en un sistema silpastoril la temperatura del aire puede ser 3.5 °C mayor a pleno sol que bajo la sombra de los árboles, mientras que Tajuddin *et al.* (1986), encontraron que los árboles de *Hevea* sp. en Malasia, en un sistema de silpastoril para carneros, atenuaron la temperatura entre 1 y 5 °C con respecto a pleno sol.

Humedad relativa (HR)

La humedad relativa no siguió el mismo comportamiento que la RFA y la temperatura diurna del aire. Sólo se observaron diferencias significativas a favor de la variante bajo árboles dispersos en los meses de julio y agosto de 2022, así como durante el mes de abril de 2023, muy probablemente relacionado con el efecto de las lluvias (datos no disponibles) (Tabla 3). En cuanto a las variaciones estacionales los mayores valores se registraron durante el mes de septiembre con un ligero incremento bajo árboles dispersos (Tabla 3). Resultados similares fueron reportados por Munka (2017), quien encontró que el mayor registro de la humedad del aire se presentó bajo los árboles. Por otra parte, Bahamonde *et al.* (2009), reportaron que la humedad relativa del aire en general es superior en áreas de mayor componente arbóreo, y estos incrementos pueden alcanzar diferencias de hasta 20 %. Tales argumentos también han sido corroborados por Elías y Castellví (2001), quien se lo atribuye al fenómeno de estanqueidad que provoca menos transporte de vapor de agua, mientras que Gómez (2004) argumenta que la cubierta vegetal constituye otra fuente de agua a la atmósfera a través de la transpiración.

Humedad y temperatura del suelo

La humedad del suelo fue sistemáticamente mayor a pleno sol en todos los meses muestreados (Tabla 3) lo cual se ha documentado en estudios anteriores en cafetos cultivados al sol y bajo sombra (Velasco *et al.*, 2001). Estos autores encontraron que la humedad del suelo en los cafetos expuestos fue mayor que bajo sombra y plantean tres posibles hipótesis relacionadas con la capacidad de interceptación de la lluvia por parte de los árboles sombreadores, el efecto del rocío en las plantaciones cultivadas a pleno sol y la absorción de agua por los árboles de sombra. De igual forma, a plena exposición solar se registraron temperaturas del suelo mayores que bajo la sombra de los árboles, demostrando el efecto regulador que ejercen los árboles sobre la temperatura en un sistema silvopastoril. El déficit de presión de vapor fue sistemáticamente superior a pleno sol (Tabla 3) y por debajo de 1.5 kPa en ambas variantes, lo cual indica que a cielo abierto el aire se reseca más creando condiciones propicias para una mayor transpiración (Salas *et al.*, 2020).

Variaciones diurnas del microclima

En la temporada lluviosa se registró el máximo pico de radiación solar a las 12:00 horas con valores cercanos a $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En contraste, en la estación seca, los registros más altos se alcanzaron a las 14:00 horas, con $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En la variante con árboles dispersos en horas de la tarde, la RFA se redujo de forma significativa, alcanzando valores máximos de $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 1). La atenuación de la radiación solar bajo la sombra de los árboles pudiera tener otras connotaciones. De acuerdo con Gómez (2004), bajo la sombra proyectada por los árboles no sólo se reduce la intensidad de la radiación solar sino también la composición espectral, lo cual significa que esta sea más alta en la longitud de onda correspondiente al verde y aún más elevada en el rojo lejano con implicaciones para la fotosíntesis.

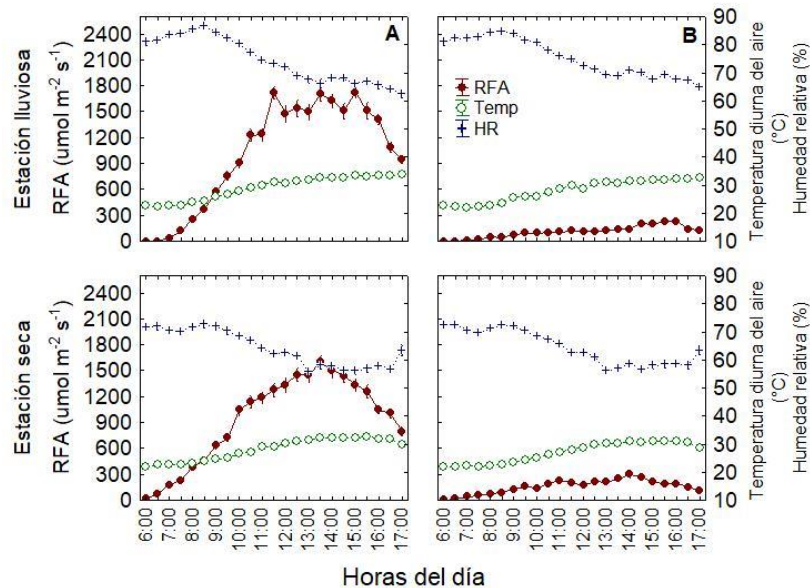


Figura 1. Variaciones diurnas de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura del aire y humedad relativa en época de lluvia y sequía a pleno sol (A) y bajo árboles dispersos (B).

La temperatura diurna del aire, en ambas variantes, al inicio del día alcanzó valores de 20 °C; sin embargo, al inicio del día no se mostraron diferencias entre variantes. La temperatura a plena exposición solar fue superior en comparación a la variante bajo árboles dispersos. Así mismo, a partir de las 9:00 se presentaron las principales diferencias a favor de la variante a plena exposición solar, oscilando entre 0.9-1.5 °C de diferencia a lo largo del día (Figura 1. A y B). Este resultado confirma el efecto regulador que ejercen los árboles de sombra al atenuar la intensidad de la radiación solar que llega al estrato herbáceo (Lisnawati *et al.*, 2017), y demuestra la disminución que se produce en la radiación disponible, por la modificación que ejerce la sombra en las condiciones microclimáticas para el cultivo asociado (Andrade *et al.*, 2010). Con respecto a la humedad relativa, esta fue ligeramente superior bajo árboles y en la estación seca.

La temperatura del suelo fue mayor en la estación lluviosa a pleno sol (Figura 2), con valores cercanos a los 32 °C; sin embargo, a las 07:00 horas se observó una disminución de 2 °C, mientras que los registros más altos se presentaron a las 14:00 horas. Por otro lado, la temperatura del suelo bajo la sombra de los árboles, al inicio del día se mantuvo en 30 °C. En la estación seca la temperatura del suelo disminuyó hasta 10 °C, alcanzando valores máximos de 30 °C en ambas variantes (Figura 2 A y B).

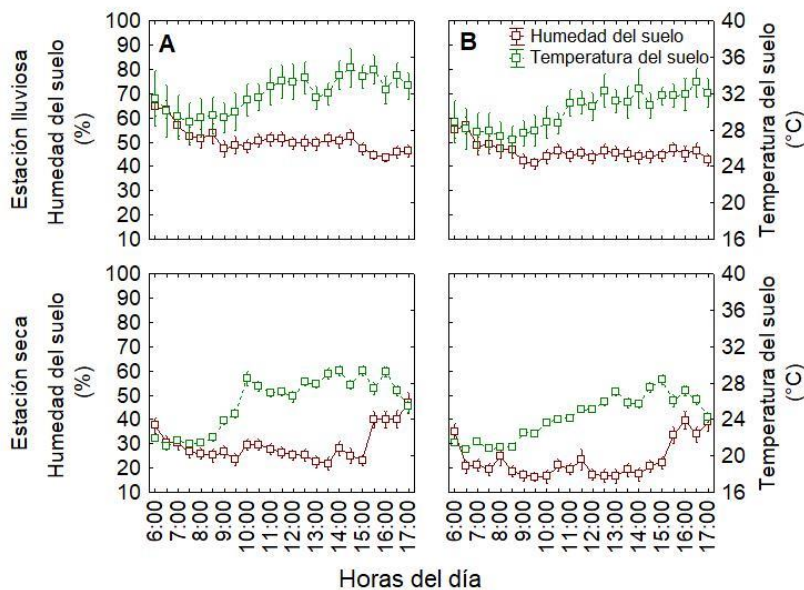


Figura 2. Variaciones diurnas de la humedad y temperatura del suelo en época de lluvia y sequía a pleno sol (A) y bajo los árboles dispersos (B).

Por otra parte, en la variante de pleno sol se registraron valores de humedad del suelo de 39.09%, mientras que bajo los árboles dispersos esta disminuyó a 33.43%. En la estación lluviosa se registró mayor humedad a plena exposición solar, con una diferencia de 25% (Figura 2). Se ha comprobado que el componente arbóreo y los pastos compiten por la humedad disponible en el suelo ocasionando que a plena exposición solar la humedad del suelo sea mayor (Peri *et al.*, 2016). A su vez, en casos de sequía extrema, la presencia del componente arbóreo reduce la evapotranspiración de los cultivos en el sotobosque, debido a la disminución de la temperatura y de la velocidad del viento, a pesar de esto se beneficia el desarrollo del forraje en el sistema (Peri *et al.*, 2016). De igual forma otro punto importante de la humedad del suelo, es la influencia en las propiedades físicas del suelo, como lo es el punto de saturación ya que este depende de la materia orgánica el tipo y cantidad de arcilla.

Según Munka (2017), los sistemas silvopastoriles modifican significativamente la temperatura del aire y del suelo. Éstos cambios son importantes para el crecimiento de las especies forrajeras debido a que altas temperaturas inhiben la fotosíntesis y la síntesis de citoquinina, hormona asociada a la emisión de nuevas hojas, que retrasan el tiempo de maduración del follaje (Wang *et al.*, 2003). Nuestros resultados concuerdan con Monteith *et al.* (1990), quienes demostraron que dentro del sistema silvopastoril la temperatura del suelo disminuyó de 2 a 4° C en comparación a campo abierto; además la presencia de árboles dispersos tiende a reducir la RFA, incidiendo en la disminución de la velocidad del viento.

El DPV, al inicio del día no se modificó significativamente y se registraron valores menores a 1 kP, en cuyas condiciones el aire tiene mayor capacidad de retener agua; sin embargo, después de las 12:00 horas, se registraron diferencias significativas en la estación lluviosa, siendo mayor en la variante de plena exposición solar con registro de 1.1 Kp, incrementando en horas de la tarde hasta alcanzar valores de 1.10 Kp. Por otra parte, en la estación seca se obtuvieron diferencias a partir de las 14:00 horas, siendo superior a plena exposición solar (Figura 3 B). Según DaMatta (2004) y DaMatta y Rena (2002) indican que las condiciones que regulan el DPV son la reducción de la temperatura del aire y del follaje, además del incremento de la HR y disminución de la velocidad del viento, causando una reducción substancial del déficit de presión de vapor (DPV) así como también de la tasa de transpiración y como consiguiente el ingreso de CO₂ a la planta. Nuestros resultados difieren de López (2009) quien menciona que el DPV a plena exposición solar superó los 3.5 kP al medio día, y esto afecta el potencial hídrico foliar y la apertura de las estomas, limitando la transpiración.

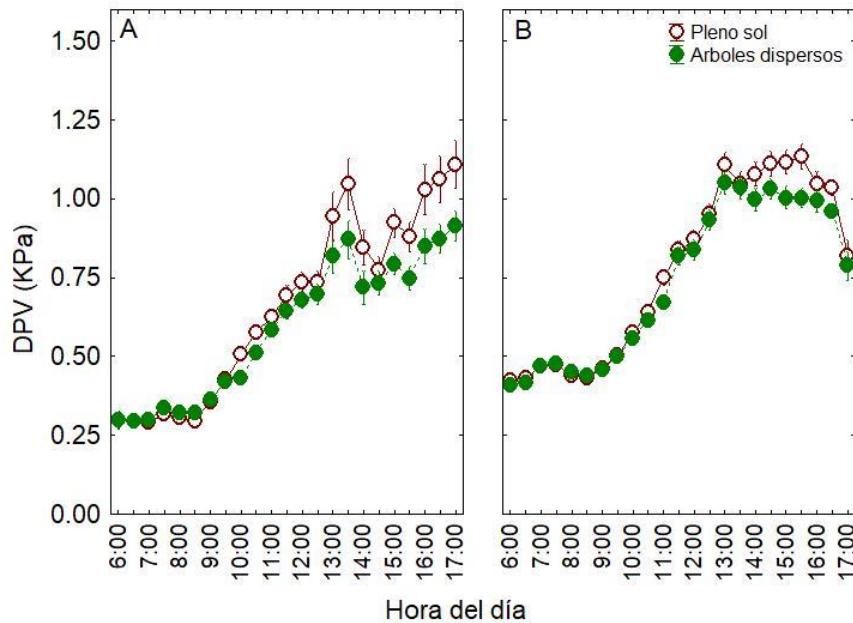


Figura 3. Variaciones diurnas del déficit de presión de vapor (DPV) en época de lluvia y sequía a pleno sol bajo los árboles dispersos de un sistema silvopastoril, durante las estaciones de lluvia (A) y seca (B).

Conclusiones

El componente arbóreo en un sistema silvopastoril atenúa hasta 90% la radiación fotosintéticamente activa incidente. La temperatura diurna del aire fue superior a plena exposición solar en todos los meses de muestreo, alcanzando una diferencia de 1.12 °C con respecto a la sombra durante todo el período evaluado. La humedad relativa es ligeramente superior bajo los árboles dispersos, mientras que la humedad del suelo disminuye bajo condiciones de sombra. La temperatura del suelo incrementa en las condiciones de pleno sol y el déficit de presión de vapor del aire (DPV) fue sistemáticamente mayor a pleno sol.

Bibliografía

Alzina-López, A., Farfán-Escalante, J. C., Valencia-Heredia, E. R., & Yokoyama-Kano, J. (2001). Condición ambiental y su efecto en la temperatura rectal y frecuencia respiratoria en bovinos cruzados (*Bos taurus* x *Bos indicus*) del estado de Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 12(2), 112-121.

- Andrade, F. H., Abbate, P. E., Otegui, M. E., Cirilo, A. G., & Cerrudo, A. (2010). Ecophysiological basis for crop management. *The Americas Journal of Plant Science & Biotechnology*, 4, 23-34.
- Bahamonde, H. A., Peri, P. L., Martínez Pastur, G., & Lencinas, M. V. (2009). Variaciones microclimáticas en bosques primarios y bajo uso silvopastoril de *Nothofagus antarctica* en dos Clases de Sitio en Patagonia Sur. In *Actas Primer Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*. Posadas, Misiones, Argentina.
- Barragán-Hernández, WA, Mahecha-Ledesma, L., & Cajas-Girón, YS (2015). Variables fisiológicas-metabólicas de estrés calórico en vacas bajo silvopastoreo y pradera sin árboles. *Agronomía Mesoamericana*, 26 (2), 211-223.
- DaMatta, F. M., & Rena, A. B. (2002). Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. O estado da arte de tecnologias na produção de café. Viçosa: UFV, 93-135.
- DaMatta, FM (2004). Limitaciones ecofisiológicas en la producción de café con y sin sombra: una revisión. *Investigación de cultivos extensivos*, 86 (2-3), 99-114.
- Elías, F.; Castellvi, F. 2001 *Agrometeorología* . 2a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. 517 p.
- Feldhake, CM y Belesky, DP (2009). Eficiencia del uso de la radiación fotosintéticamente activa de *Dactylis glomerata* y *Schedonorus phoenix* a lo largo de un gradiente de luz inducido por árboles de madera dura. *Sistemas agroforestales*, 75, 189-196.
- Garcia, R., & ANDRADE, C. D. (2001). Sistemas silvipastoris na região sudeste. Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, 173-187.
- Gómez, V .2004. Cubiertas forestales y respuesta microclimática. Madrid, España, EUIT Forestal. Departamento de Silvopascicultura. pp. 84-100.
- Gutiérrez, B. (2003). Primer Capítulo del Libro “Diagnóstico y Diseño Participativo en Sistemas Agroforestales.
- Ignamarca, A. L., Muñoz Sáez, F., Cancino Cancino, J., Sotomayor Garretón, A., Dube, F., Sáez Carrillo, K., Navarrete Torres, M. (2019). La cobertura arbórea de *Acacia cave* sobre la

- calidad de la pradera y microclima en un sistema silvopastoril de Chile central. *Madera y bosques*, 25(2). Lin, C. H.; McGraw, R. L.; George, M.F.; Garrett, H. E. 2001. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. *Agroforestry Systems*. 53:269-281.
- Jones, MB y Muthuri, FM (1997). Biomasa permanente y distribución de carbono en un pantano de papiro (*Cyperus papyrus* L.) en el lago Naivasha, Kenia. *Revista de Ecología Tropical*, 13 (3), 347-356.
- Lisnawati, A., Lahjie, A. M., Simarangkir, B. D. A. S., Yusuf, S., & Ruslim, Y. (2017). Agroforestry system biodiversity of Arabica coffee cultivation in North Toraja district, South Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 18(2), 741-751.
- López-López, R., Arteaga Ramírez, R., Vázquez Peña, M. A., López Cruz, I., & Sánchez Cohen, I. (2009). Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas. *Agricultura técnica en México*, 35(1), 97-111.
- Macedo-Pezzopane, J.R; Bosi, C.; Franceschi-Nicodemo, M.; Menezes, P.; Gomez da Cruz, P.; Suaiden-Parmejian, R. 2015 Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. *Bragantia (Campinas)*. 74(1):110-119.
- Mantagnini, F. (1992). *Sistemas agroforestales: Principios y aplicaciones en los trópicos*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, Subsecretaria de Desarrollo Rural Dirección General de Apoyo para el Desarrollo Rural, Sistemas agroforestales, Puebla, México.
- Miranda, F., & P. P. (1952). *La vegetación de Chiapas*. Ediciones del Gobierno del Estado: Tuxtla Gutiérrez. Chiapas, México, 324.
- Munka, C. (2017). Microclima en sistemas silvopastoriles. Viñoles, C.; Fedrigo, J.; Benitez, V, 63-68.
- Peri, P. L. (2005). Sistemas silvopastoriles en ñirantales. *IDIA XXI Forestal*, 5(8), 255-259.

- Peri, PL, Dube, F. y Varella, AC (2016). Sistemas silvopastoriles en las zonas templadas y subtropicales de América del Sur: una visión general. *Sistemas Silvopastoriles en el Sur de Sudamérica*, 1-8.
- Rovira, P. J.; Velazco, J. I. 2008. Cuantificando el estrés calórico en vacunos en pastoreo. *Revista INIA*. no. 16:10-13.
- Salas-Rivera, R., L. A. Valdez-Aguilar, D. Alvarado-Camarillo, E. RascónAlvarado, F. M. Peña-Ramos y J. A. González-Fuentes. 2020. Balance potasio: calcio, relación con el déficit de presión de vapor y la radiación fotosintéticamente activa en tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana* 38: 301-311
- Tajuddin, I. (1986). Integración de animales en plantaciones de caucho. *Sistemas Agroforestales*, 4, 55-66.
- Velasco, E., Verdecia, J., Medina, R., Rodriguez, L. (2001). Variaciones en el microclima de un cafetal en dependencia de la exposición a la radiación solar en las condiciones del macizo de la Sierra Maestra. *Cultivos Tropicales*, 22(3), 53-59.

Capítulo 2:

**Artículo 2: Crecimiento y
acumulación de biomasa del
pasto Cayman *Brachiaria* sp
en un sistema silvopastoril**

**CRECIMIENTO Y ACUMULACIÓN DE BIOMASA DEL PASTO CAYMAN
Brachiaria sp EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL.**

**GROWTH AND ACCUMULATION OF BIOMASS OF THE CAYMAN *Brachiaria sp*
GRASS IN A SILVOPASTORIAL SYSTEM**

César Iván Vázquez Ramos¹, Luis Alfredo Rodríguez Larramendi², Miguel Ángel Salas Marina², Wel Olveín Cruz Macías²

¹ Estudiante de la Maestría en Ciencias Agroforestales, Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (cesar.vazquez@e.unicach.mx)

² Cuerpo Académico Agroforestería y Desarrollo Rural, Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (alfredo.rodriguez@unicach.mx, miguel.salas@unicach.mx, wel.cruz@unicach.mx).

* Corresponding author: alfredo.rodriguez@unicach.mx

SUMMARY

Background. In Mexico, cattle raising is one of the most important activities for the economy. Large extensions of land are used for pasture cultivation, generating high deforestation, loss of biodiversity and degraded soils. For this reason, new varieties of grasses are being sought that meet the requirements of both producers and ecologists. **Objective.** To study variations in leaf growth and biomass distribution patterns of Cayman grass plants in a silvopastoral system. **Methodology.** An experiment was developed under field conditions with two experimental variants: grass grown in full sun and grass grown under the shade of trees dispersed in the pasture. Microclimatic variables such as daytime air temperature (°C), relative humidity (%), photosynthetically active radiation (PAR), vegetative growth, leaf area, plant height, dry weight of plant organs, specific leaf mass and specific leaf area were evaluated. The information was recorded monthly from July 2022 to February 2023, covering rainy and dry seasons. **Results.** Plants exposed to the sun grew more and accumulated more biomass in conditions of full sun exposure compared to those grown under the shade of scattered trees; however, plants grown in the sun reached senescence earlier than those grown in the shade, demonstrating the capacity to adapt to the conditions of full sun exposure. **Conclusions.** Cayman grass is well adapted to the microclimatic conditions prevailing in a silvopastoral system with scattered trees.

Key words: Silvopastoral system, growth variables, microclimate, forage grasses.

RESUMEN

Antecedentes. En México la ganadería es una de las actividades sumamente importantes, para la economía. Grandes extensiones de terreno se destinan para el cultivo de pastos, generando alta de deforestación, pérdidas de biodiversidad y suelos degradados. Por lo cual se buscan nuevas variedades de gramíneas que cumplan tanto con los requerimientos de los productores y ecológicos. **Objetivo.** Estudiar las variaciones en el crecimiento foliar y los patrones de distribución de biomasa en las plantas del pasto Cayman en un sistema silvopastoril. **Metodología.** Se desarrolló un experimento en condiciones de campo con dos variantes experimentales: pasto crecido a pleno sol y pasto crecido bajo la sombra de los árboles dispersos en potrero. Se evaluaron variables microclimáticas como la temperatura diurna del aire ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), la radiación fotosintéticamente activa (RFA), crecimiento vegetativo, área foliar, altura de la planta, peso seco de los órganos de la planta, masa foliar específica y área foliar específica. La información se registró mensualmente desde julio 2022 a febrero 2023, abarcando las estaciones de lluvia y sequía. **Resultados.** Las plantas expuestas al sol crecieron más y acumularon mayor cantidad de biomasa en condiciones de plena exposición solar en comparación con el crecido bajo la sombra de árboles dispersos; sin embargo, las plantas crecidas al sol, llegan a la senescencia antes que las crecidas bajo sombra, demostrando capacidad de adaptarse a ambientes de escasa radiación solar. La temperatura diurna del aire durante la estación lluviosa influyó negativamente en la altura, área foliar y acumulación de biomasa en hojas, tallos y raíces, mientras que el efecto de la radiación solar se manifestó más en la razón de área foliar, el área foliar específica y la masa foliar específica. En la estación de seca el crecimiento del tallo y de las raíces depende más de la humedad relativa y del suelo, mientras que valores altos del déficit de presión de vapor (DPV) afecta el crecimiento de estas variables. En esta misma estación, incrementos en la temperatura diurna del aire afecta la razón de área foliar y el área foliar específica y favorece la translocación de masa seca hacia las hojas. **Conclusiones.** El pasto Cayman se adapta bien a las condiciones microclimáticas imperantes en un sistema silvopastoril con árboles dispersos

Palabras claves: Sistema silvopastoril, variables de crecimiento, microclima, pastos forrajeros

INTRODUCCIÓN

Las regiones ganaderas de México, basa su alimentación en las gramíneas forrajeras, debido a la facilidad para obtenerla y manejarla, sin embargo, a nivel nacional se siguen utilizando pastos nativos, hasta en un 60 %, los cuales no cubren las necesidades de una ganadería productiva (Calderon *et al.*, 2007). Ante esta situación, unas de las alternativas, es fortalecer la ganadería sustituyendo especies poco productivas a pastos forrajeros con mejores características para su mejor aprovechamiento, así como incrementar la producción de forma sostenible y de esta manera cumplir con los requerimientos para los productores (Enríquez y Romero 1999). El género *Brachiaria*, es una alternativa por sus buenas características, ya que incrementa la producción de leche y carne hasta en un 24 % respectivamente, siendo adoptada por más del 6.4% de productores a nivel nacional (Argel, 2006). De manera particular el pasto Cayman (BR02/1752 cv. Cayman), híbrido del genero *Brachiaria* nueva generación tolerante a suelos húmedos o saturados, resistente a plagas y enfermedades, se caracteriza por ser una gramínea de rápido crecimiento y alto contenido proteico, además de poseer buen comportamiento ante la sequía, siendo una alternativa muy atractiva para incrementar la producción en las regiones tropicales de México (Cruz *et al.*, 2011).

Los sistemas silvopastoriles se han presentado como una buena alternativa como sistema de producción frente a las afectaciones del cambio climático ya que una gran parte de los sistemas productivos está conformado por ganadería extensiva. Por otra parte, estos sistemas se han convertido en una de las opciones para revertir los procesos de degradación de los pastizales, porque a través de ellos disminuye la degradación de los suelos y además se aprovechan los servicios ecosistémicos de los árboles (Nair *et al.* 2009). Aunado a esto los sistemas silvopastoriles (SSP) se desarrollan de manera armoniosa las especies leñosas, arbustos, las gramíneas y animales interactuando en un mismo espacio, donde se toma en cuenta los aspectos ecológicos, económico y social Ruiz *et al.* (2003).

El crecimiento de pastos, está totalmente ligado a los factores microclimáticos, como la temperatura, siendo este elemento del clima que más influye en la producción de nuevas hojas, alargamiento del tallo y hojas, además del efecto que ejerce en la síntesis, transporte y degradación de la actividad enzimática (Simpson y Vulnevor, 1987). Por otra parte, la radiación fotosintéticamente activa (RFA), es un factor muy importante en el desarrollo de los pastos, que

está totalmente ligado a los procesos fisiológicos. De acuerdo con Buxton y Fales (1994), al disminuir la intensidad de radiación solar, por la presencia de árboles en el sistema, tiende a modificarse la composición física y química de los pastos. Por su parte Wilson (1983) señala que, al disminuir la intensidad lumínica en las gramíneas forrajeras, estas tienden a incrementar la cantidad de nitrógeno y proteína cruda. De igual forma Hernández (2000), reporta que la reducción de la RFA por el sombreado de los árboles, influye sobre la digestibilidad de la materia seca, debido a la disminución del contenido lignina de la pared celular.

El por ello que el objetivo de esta investigación fue estudiar las variaciones en el crecimiento foliar y los patrones de distribución de biomasa en las plantas del pasto Cayman en un sistema silvopastoril.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se diseñó un experimento usando como material vegetal pasto CAYMAN (*Brachiaria híbrido* cv. CIAT BRO2/1752), sembrado en bloques al azar con cinco bloques de parcelas de 2 x 2 m por variante experimental conformados por pasto bajo árboles dispersos (sistema silvopastoril) y pasto a plena exposición solar. Los árboles de sombra predominantes fueron *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Poëppigia procera* y *Calycophyllum candidissimum*.

Localización

El estudio se encuentra ubicado en la colonia Valle Morelos del Municipio de Villa Corzo, Chiapas, México, a una altura de 560 metros sobre el nivel del mar en las coordenadas 16°36'5"N y 92°59'48"W (Figura 1).

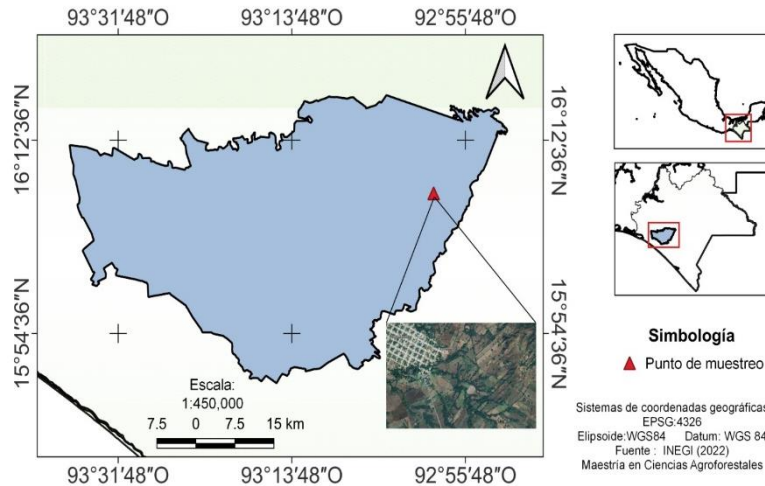


Figura 1. Localización del área de estudio.

El comportamiento de las variables del microclima durante el período en que se realizó el experimento se muestra en la Tabla 1 y para sus respectivos registros se siguieron los procedimientos que se describen a continuación.

Tabla 1. Valores medios de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura del aire, humedad relativa, déficit de presión de vapor, humedad y temperatura del suelo en época de lluvia y sequía a pleno sol (A) y bajo árboles dispersos (B) de un sistema silvopastoril.

| Variante | Estación del año | PAR | Temperatura del aire | Humedad Relativa | Humedad suelo | DVP | Temperatura del suelo |
|-------------------|------------------|--------|----------------------|------------------|---------------|------|-----------------------|
| Pleno sol | Lluvia | 935.36 | 28.68 | 76.01 | 50.88 | 0.66 | 31.92 |
| | Sequía | 800.94 | 26.62 | 66.68 | 22.29 | 0.67 | 25.59 |
| Árboles dispersos | Lluvia | 95.24 | 27.47 | 76.74 | 46.20 | 0.58 | 30.05 |
| | Sequía | 88.40 | 25.53 | 66.61 | 17.34 | 0.64 | 24.34 |

Variables medidas

Densidad del flujo fotónico fotosintético.

Para determinar la densidad del flujo fotónico fotosintético ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), se tomaron las mediciones desde 6:00 am hasta las 17:00 pm, registrándose los valores dentro del rango de longitud de onda de 400-700 nm (radiación fotosintéticamente activa, PAR). Las mediciones se realizaron en intervalos de 30 minutos, tres días de cada mes en cada punto de muestreo por cada variante experimental.

Humedad relativa y temperatura del aire

Las mediciones se realizaron con una microestación climática WatchDog®. Se tomaron datos de la temperatura (°C) y la humedad relativa del aire (%), a intervalos de 30 minutos, tres días de cada mes en cada punto de muestreo en cada variante experimental.

Crecimiento vegetativo

Se seleccionaron diez plantas de manera al azar por variante experimental las cuales se llevaron al laboratorio de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas para medir las variables morfológicas con una frecuencia mensual.

Área foliar

Para calcular el área foliar se midieron el largo y ancho de las hojas cm con la ayuda de un flexómetro, posteriormente se aplicó la fórmula: $AF = \text{largo de la hoja} \times \text{ancho de la hoja} \times 0.75$ (Stickler *et al.* 1961).

Altura de la planta

Para determinar la altura de la planta en cm se utilizó un flexómetro, midiendo desde el nivel del suelo hasta el fin de la hoja más alta, a lo largo de la nervadura, desde la lígula, hasta el ápice. *Hojas por planta*

Índices de crecimiento

Las plantas seleccionadas se lavaron para separar la raíz, tallos y hojas y se colocaron en bolsas de papel, posteriormente se colocaron en una estufa para su secado durante 72 horas a una temperatura constante de 80° C y pesadas en una balanza analítica Sartorius® con una precisión de 0.01 g. A partir de estos muestreos se determinó la masa seca de hojas, tallo y raíces y los índices de crecimiento Razón de Área Foliar (RAF), Razón de Masa foliar (RPF), Relación raíz-tallo (R/T), Masa Foliar Específica (MFE) y Área Foliar Específica (AFE) de acuerdo con la metodología propuesta por Hunt *et al.*, (2002).

Análisis estadístico

Se aplicaron pruebas de T de Student para determinar diferencias entre las variantes de árboles dispersos y a pleno sol y se realizaron ajustes de curvas de crecimiento entre el área foliar y el

peso seco de los diferentes órganos de la planta en el tiempo a través de ajustes de curvas de regresión polinomiales de segundo grado. Previamente, se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Se usó el software STATISTICA®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantas crecidas a pleno sol durante la estación lluviosa mostraron mayor crecimiento que las crecidas bajo la sombra de árboles dispersos (Tabla 1). La acumulación de masa seca en el tallo, raíces y hojas fueron las que más incremento mostraron con respecto a la variante bajo la sombra de árboles dispersos con aumentos del 65.07, 59.45 y 40.64% respectivamente. En consecuencia, el peso seco de la planta fue 58.40% mayor en las plantas expuestas al sol. Sin embargo, a pesar de las evidencias que demuestran que las plantas sombreadas desarrollan mayor crecimiento foliar (Páez *et al.*, 2000), en estas condiciones no se observaron diferencias significativas entre ambas variantes. En la estación lluviosa donde las plantas sombreadas a pesar de mostrar incrementos del 11.3% respecto a las expuestas a pleno sol, no resultó en diferencias estadísticamente significativas. En este sentido, se ha demostrado que los cambios morfológicos más notables en los rasgos funcionales de las plantas en ambientes climáticamente contrastantes se expresan mayormente en el número de hojas, diámetro de tallo y el área foliar específica (Zelaya y Reynel, 2019).

Al respecto, se ha demostrado que las plantas que crecen bajo sol, desarrollan mayor cantidad de hojas, pero de menor longitud y ancho. A medida que la planta acumula más área foliar, incrementa la capacidad de capturar energía solar, de tal forma que alcanza su tasa de crecimiento máxima (Rodríguez *et al.*, 2010). Las hojas de sombra normalmente son mayores en longitud y ancho, siendo también más delgadas que aquellas producidas bajo elevadas intensidades lumínicas (Norton *et al.*, 1991; Castro *et al.*, 1999; Guenni *et al.*, 2008). Un valor más alto de área foliar implica una superficie más eficiente en la captación de luz, lo que, aunado a una mayor proporción de radiación difusa incidente bajo la copa de los árboles, pudiera compensar así por la menor cantidad de radiación directa bajo el dosel arbóreo.

Tabla 1. Crecimiento vegetativo y acumulación de biomasa en pasto Cayman crecido en un sistema silvopastoril bajo árboles dispersos y a pleno sol en las estaciones de lluvia y seca.

| Variables | Estación lluviosa |
|-----------|-------------------|
|-----------|-------------------|

| | Pleno sol | Arboles dispersos | t de Student | p |
|---------------------------------------|----------------|-------------------|--------------|-------|
| Altura planta (cm) | 81.43±39.18 | 68.81±29.28 | 1.154224 | 0.054 |
| Masa seca del tallo (g) | 6.87±6.43 | 2.40±3.06 | 2.808209 | 0.008 |
| Longitud de la raíz (cm) | 14.02±4.85 | 10.26±5.55 | 2.280758 | 0.028 |
| Número de raíces | 33.69±23.19 | 20.90±16.21 | 2.021522 | 0.050 |
| Masa seca de la raíz (g) | 3.28±3.56 | 1.33±1.73 | 2.208358 | 0.033 |
| Área Foliar Planta (cm ²) | 579.73±516.03 | 525.84±472.32 | 0.344456 | 0.732 |
| Masa seca de hojas (g) | 2.83±2.41 | 1.68±1.61 | 1.771063 | 0.055 |
| Masa seca total de la planta (g) | 12.98±11.96 | 5.40±6.32 | 2.503215 | 0.017 |
| | Estación seca | | | |
| Altura planta (cm) | 112.00±4.03 | 95.18±8.26 | 8.18785 | 0.000 |
| Masa seca del tallo (g) | 12.61±11.01 | 6.69±5.50 | 2.15247 | 0.038 |
| Longitud de la raíz (cm) | 20.20±4.32 | 14.42±2.69 | 5.08244 | 0.000 |
| Número de raíces | 70.19±16.93 | 56.36±11.50 | 3.02050 | 0.004 |
| Masa seca de la raíz (g) | 16.63±14.40 | 9.53±7.62 | 1.94734 | 0.059 |
| Área Foliar Planta (cm ²) | 1890.95±565.23 | 2105.02±751.59 | -1.01802 | 0.315 |
| Masa seca de hojas (g) | 8.09±6.19 | 7.03±4.39 | 0.62159 | 0.538 |
| Masa seca total de la planta (g) | 37.33±31.21 | 23.26±16.54 | 1.78204 | 0.083 |

Media ± desviación estándar

La mayor altura de la planta a plena exposición solar ha sido reportado con anterioridad por Zelaya y Sotelo (2000), quienes encontraron una clara diferencia en la altura de la planta crecidas al sol, debido a que la altura es una variable altamente influenciada por la luz, probablemente a diferencias en las concentraciones de hormonas del crecimiento que determinan el crecimiento del tallo y de los ápices caulinares.

Sin embargo, la masa foliar específica (MFE) (Tabla 2), un indicador que está estrechamente relacionado con el grosor histológico de la hoja (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2016), fue mayor en las plantas crecidas en la variante con mayor exposición al sol en la estación de lluvias. El hecho de no haberse detectado diferencias significativas en este indicador en la época de seca denota un posible efecto estacional y demuestra además la sensibilidad de este indicador a las variaciones climáticas, sobre todo relacionados con la radiación solar. Al respecto, Romero-José *et al.* (2024) encontraron que, en cafetos crecidos a diferentes altitudes, en niveles contrastantes de radiación solar, la masa foliar específica (MFE) respondió más a los efectos de la temperatura que de la intensidad de la radiación solar, lo cual abre nuevas interrogantes sobre la naturaleza de las respuestas de esta variable a los cambios en el fitoclima.

En la estación lluviosa el pasto mostró mayor razón de área foliar, de peso foliar y área foliar específica en la variante bajo los árboles dispersos, mientras que el área foliar específica fue mayor (Tabla 2), lo cual denota un patrón que indica mayor inversión de recursos al desarrollo foliar en los pastos crecidos bajo sombra. A pleno sol, los pastos distribuyen mayor cantidad de biomasa hacia las raíces en detrimento del crecimiento de la parte aérea de la planta (Tabla 2).

Tabla 2. Índices de crecimiento del pasto Cayman crecido en un sistema silvopastoril bajo árboles dispersos y a pleno sol en las estaciones de lluvia y seca.

| Variables | Estación lluviosa | | | |
|---|-------------------|-------------------|--------------|------|
| | Pleno sol | Árboles dispersos | t de Student | p |
| Razón de área foliar (cm ² g ⁻¹) | 63.62 ± 42.94 | 184.01 ± 157.06 | -3.70 | 0.00 |
| Razón de masa foliar (g g ⁻¹) | 0.3 ± 0.15 | 0.41 ± 0.16 | -2.66 | 0.01 |
| Área Foliar Específica (cm ² g ⁻¹) | 206.52 ± 60.34 | 387.90 ± 192.23 | -4.50 | 0.00 |
| Masa Foliar Específica (g cm ⁻²) | 0.00489±0.0018 | 0.00273±0.0009 | 4.79 | 0.00 |
| Relación raíz/tallo (g g ⁻¹) | 11.15 ± 9.20 | 4.67 ± 4.65 | 3.14 | 0.00 |
| | Estación seca | | | |
| Razón de área foliar (cm ² g ⁻¹) | 75.02 ± 37.98 | 95.51 ± 19.79 | -1.51 | 0.15 |
| Razón de masa foliar (g g ⁻¹) | 0.27 ± 0.06 | 0.37 ± 0.12 | -2.49 | 0.02 |
| Área Foliar Específica (cm ² g ⁻¹) | 266.08 ± 90.57 | 268.56 ± 60.68 | -0.07 | 0.94 |
| Masa Foliar Específica (g cm ⁻²) | 0.004±0.003 | 0.003±0.002 | 1.04 | 0.30 |
| Relación raíz/tallo (g g ⁻¹) | 15.79 ± 11.08 | 9.57 ± 5.90 | 1.57 | 0.05 |

Media ± desviación estándar

En la estación seca, no se observaron diferencias significativas en la razón de área foliar ni en el área foliar específica y la masa foliar específica (Tabla 2) lo cual corrobora el efecto estacional de las variantes experimentales en el crecimiento del pasto Cayman en sistemas silvopastoriles. Sin embargo, la inversión de mayor biomasa hacia las raíces fue consistente con lo observado en la estación lluviosa, siendo mayor a pleno sol (Tabla 2).

Las curvas de crecimiento de las plantas en ambas variantes experimentales (Figura 2) muestran un ajuste significativo a modelos cuadráticos de segundo grado. Para el área foliar los ajustes en ambas variantes resultaron con coeficientes de determinación superiores al 65% y con valores máximos de crecimiento a los 76 y 77 días después de la siembra a pleno sol y bajo sombra respectivamente, momento que coincidió con el final de la estación de lluvia del año.

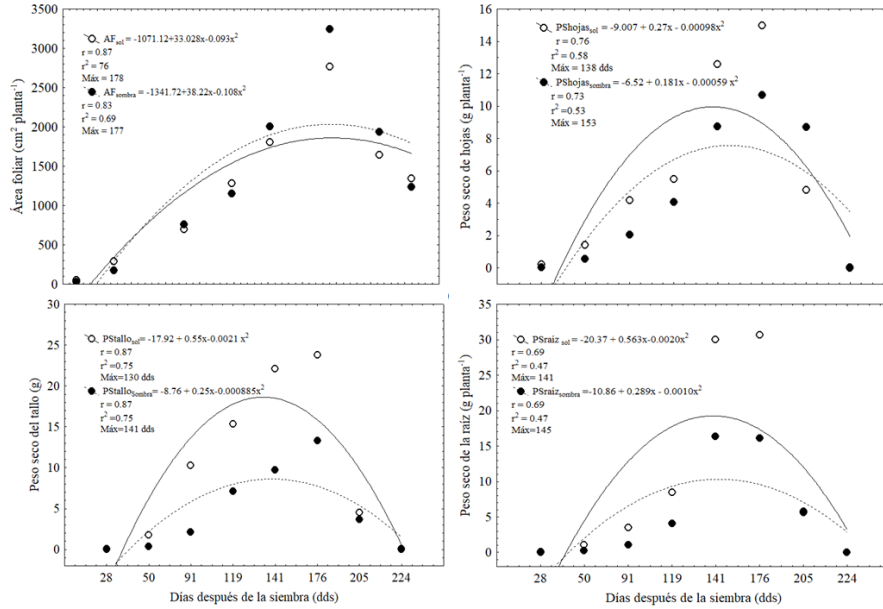


Figura 2. Curvas de crecimiento del área foliar (A), peso seco de las hojas (B), tallo (C) y raíces (D) del pasto *Cayman* en in sistema silvopastoril compuesto por árboles dispersos y a pleno sol.

El ajuste de la acumulación de biomasa en las hojas mostró coeficiente de determinación superiores al 50% y a diferencia del área foliar, las plantas comenzaron a perder peso seco en las hojas a los 138 días, mucho antes que bajo sombra (153 días). El peso seco del tallo de las plantas expuestas a plena exposición solar alcanzó el máximo valor a los 130 días, once días menos que las plantas sombreadas, y el peso seco de la raíz al igual que los demás órganos de la planta (tallos y raíces) alcanzó un máximo de crecimiento a los 141 y 145 días después de la siembra al sol y bajo sombra respectivamente (Figura 2). Algunos autores han demostrado que en pastos tropicales el máximo crecimiento foliar ocurre a los 49 días coincidiendo con el momento de corte (Rojas et al., 2018; Maldonado et al., 2019), mucho más temprano que lo encontrado en nuestra investigación. Después de este momento, ocurre una fase de senescencia en la que las tasas de crecimiento disminuyen cuya recuperación depende de las reservas de carbohidratos que posean las plantas (Aniano-Aguirre *et al.*, 2022)

Las correlaciones canónicas mostraron una relación significativa entre el grupo de variables del crecimiento (Grupo I) y del microclima (Grupo II) (Tabla 3) con la raíz canónica I. Destacan con mayor correlación dentro del grupo I y en estación lluviosa las variables altura de la planta, masa seca del tallo, longitud de la raíz, el número de raíces por planta, masa seca de la raíz y el crecimiento foliar (área foliar, masa seca foliar y razón de masa seca foliar). Mientras que en el

Grupo II, destacan con correlaciones significativas la temperatura del aire, el déficit de presión de vapor y la temperatura del suelo. Tabla 3. Correlaciones canónicas entre las variables de crecimiento del pasto Cayman (grupo I) y del microclima (grupo II) en un sistema silvopastoril en época de lluvia y de sequía.

Tabla 3. Correlaciones canónicas entre los grupos de variables del crecimiento y del microclima en un sistema silvopastoril bajo árboles dispersos y a pleno sol.

| Grupo I (Crecimiento) | Estación lluviosa | | Estación seca | |
|---------------------------------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Raíz I | Raíz II | Raíz I | Raíz II |
| Altura planta (cm) | <u>0.94</u> | 0.33 | 0.41 | -0.08 |
| Masa seca del tallo (g) | <u>0.86</u> | 0.35 | <u>0.91</u> | -0.29 |
| Longitud de la Raíz (cm) | <u>0.89</u> | 0.24 | <u>0.60</u> | -0.20 |
| Número de Raíces | <u>0.88</u> | 0.35 | -0.53 | 0.06 |
| Masa seca de la raíz (g) | <u>0.82</u> | 0.15 | <u>0.90</u> | -0.30 |
| Área Foliar planta (cm ²) | <u>0.91</u> | -0.13 | <u>0.64</u> | -0.43 |
| Masa seca hojas (g) | <u>0.94</u> | 0.10 | <u>0.75</u> | <u>-0.55</u> |
| Razón de área foliar (RAF) | -0.54 | <u>-0.55</u> | -0.35 | <u>0.92</u> |
| Razón de masa foliar (RPF) | <u>-0.77</u> | -0.52 | -0.41 | <u>-0.57</u> |
| Área Foliar Específica (AFE) | -0.12 | <u>-0.51</u> | -0.36 | <u>0.83</u> |
| Masa Foliar Específica (MFE) | 0.11 | <u>0.55</u> | <u>0.58</u> | <u>-0.62</u> |
| Relación Raíz/Tallo (R/T) | -0.34 | -0.50 | 0.05 | -0.36 |
| Redundancia | 0.54 | 0.15 | 0.35 | 0.25 |
| Varianza extraída | 0.55 | 0.15 | 0.35 | 0.26 |
| Grupo II (Microclima) | | | | |
| Radiación PAR | -0.03 | <u>0.77</u> | 0.24 | -0.25 |
| Temperatura del aire | <u>-0.79</u> | 0.36 | 0.21 | <u>-0.78</u> |
| Humedad Relativa | 0.29 | 0.09 | <u>0.89</u> | -0.37 |
| Humedad suelo | 0.26 | <u>0.62</u> | <u>0.95</u> | -0.24 |
| Déficit de presión de vapor (DPV) | <u>-0.79</u> | 0.04 | <u>-0.81</u> | 0.35 |
| Temperatura del suelo | <u>-0.84</u> | 0.04 | 0.10 | 0.07 |
| Redundancia | 0.35 | 0.18 | 0.41 | 0.16 |
| Varianza extraída | 0.35 | 0.19 | 0.41 | 0.17 |
| Correlación canónica (R) | 0.99 | | 0.99 | |
| Chi ² | 245.04 p < 0.01 | | 428.52 p < 0.01 | |

En la misma época, pero con la raíz canónica II, se obtuvieron correlaciones significativas las variables relacionadas con la asignación de masa seca hacia las hojas (área foliar específica y masa foliar específica), correlacionadas con la radiación solar y la humedad del suelo (Tabla 3).

Se destaca de estas correlaciones que el efecto de las variables del microclima depende de la estación del año y es en la estación de seca donde la radiación solar determina las características anatómicas de las hojas relacionadas indirectamente con el grosor histológico a partir de la interpretación de los patrones observados en la masa foliar específica, masa foliar específica y razón de masa y área foliar

CONCLUSIONES

El pasto Cayman, crece más y acumula mayor cantidad de biomasa en condiciones de plena exposición solar en comparación con el crecido bajo la sombra de árboles dispersos; sin embargo, las plantas crecidas al sol, llegan a la senescencia antes que las crecidas bajo sombra, demostrando capacidad de adaptarse a ambientes de escasa radiación solar.

La temperatura diurna del aire durante la estación lluviosa influyó negativamente en la altura, área foliar y acumulación de biomasa en hojas, tallos y raíces, mientras que el efecto de la radiación solar se manifestó más en la razón de área foliar, el área foliar específica y la masa foliar específica. En la estación de seca el crecimiento del tallo y de las raíces depende más de la humedad relativa y del suelo, mientras que valores altos del déficit de presión de vapor (DPV) afecta el crecimiento de estas variables. En esta misma estación, incrementos en la temperatura diurna del aire afecta la razón de área foliar y el área foliar específica y favorece la translocación de masa seca hacia las hojas

BIBLIOGRAFÍA

- Argel, P.J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. Archivos Latinoamericanos de producción animal- 14(2): 65-72. <http://www.bioline.org.br/pdf?la06011>
- Buxton, D., and S. Fales. 1994. Plant environment and quality. In: G. Fahey, editor, Forage quality, evaluation, and utilization. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. p. 155-199. <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c4>
- Calderón R.R.C., G. Hernández B., S. Olazarán J., J.J.M. Ramírez G., J.V. Rosete F., Ríos U., J.R. Galaviz R., O. Vega M., O. Castañeda M., U. Aguilar B., J. Lagunes L. 2007. Manual ilustrado para el manejo de la lechería tropical especializada con bovinos. Sitio

experimental las margaritas. Campo Experimental La Posta. INIFAP. CIRGOG. Libro técnico núm. 18. Puebla, México. P.133.

Cruz P, M Boval (2011) Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses. In: Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. G Lemaire, J Hogson, A de Moraes, C Nabinger, P C de F Carvalho (eds). CAB International, Wallingford Oxon OX10 8DE, UK. pp:151-168. <https://doi.org/10.1079/9780851994529.0151>

Cruz P. 1997. Effect of shade on the growth and mineral nutrition of a C4 perennial grass under field conditions. *Plant Soil* 188(2):227-237. <https://doi.org/10.1023/A:1004296622463>

Enríquez Q J F, M Romero (1999) Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. en Isla, Veracruz. *Agrociencia* 33:141-148.

Maldonado, P. M. A.; Rojas, G. A. R.; Sánchez, S. P.; Bottini, L. M. B.; Torres, S. N.; Ventura, R. J.; Joaquín, C. S. y Luna, G. M. J. 2019. Análisis de crecimiento del pasto Cuba OM-22 (*Pennisetum purpureum* X *Pennisetum glaucum*) en el trópico seco. *Agroproductividad*. 12(8):17-22. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1445>.

Olivares, J., Jiménez, R., Rojas, S. y Martínez, P., 2005. Uso de las Leguminosas arbustivas en los sistemas de producción animal en el trópico. *Revista Electrónica Veterinaria (REDVET)*, 6(5), p.19.

Rodríguez A.J., Gutiérrez O.E., Rodríguez F.H. 2010. Desarrollo y crecimiento de las plantas forrajeras y su relación con el clima. In: Rodríguez AJ, Gutiérrez OE, Rodríguez FH. *Dinámica de sistemas de pastoreo*. Ed. Trillas, México. 2010: 61-87.

Rojas, G. A. R.; Torres-Salado, N.; Maldonado-Peralta, M. de los A.; Sánchez-Santillán, P.; García-Balbuena, A.; Mendoza-Pedroza, S. I.; Álvarez-Vázquez, P.; Herrera-Pérez, J. y Hernández-Garay, A. 2018. Curva de crecimiento y calidad de pasto cobra (*Brachiaria* híbrido BR02/1794) a dos intensidades de corte. *Agroproductividad*. 11(5):24-28. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/2409>

Rubio, E. E. S., Rodríguez, D. P., Reyes, L. O., & Buenfil, G. Z. (2004). Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos.

- Técnica Pecuaria en México, 42(2), 129-144. Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J Plant Nut. Soil Sci.* 172:10
- Ruíz, T. E., Febles, G. & Alonso, J. 2003. Potencial para la producción de biomasa en sistemas con leguminosas perennes. II Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes (CD-ROM). La Habana, Cuba
- Ruíz, T.E., Febles G. Establecimiento de especies de árboles y arbustos tropicales. Siembra, manejo y puesta en explotación. Curso financiado por el FIRA en Tantakin, Yucatán, México, 2003:36 p.
- Sandoval, K., Mora, J., Brambila, J., Martínez, M. y Vaquera, H., 2015. Factors that Determine Milk Consumption in the Federal District, Mexico. *Revista científica FCV*, 15(1), pp.74–80. Santacoloma, L. y Granados, J., 2010.
- Santacoloma-Varón, L. E., & Granados, J. E. (2010). Evaluación del contenido de metabolitos secundarios en dos especies de plantas forrajeras encontradas en dos pisos térmicos de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1(1), 29-36. <https://doi.org/10.22490/21456453.890>
- Villanueva, C., Ibrahim, M. y Casasola, F., 2008. Valor económico y ecológico de las cercas vivas en fincas y paisajes ganaderos. En: CATIE, ed., Serie Técnica. Informe Técnico N° 372. Centro Agronómico Tropical y Enseñanza, 1a ed. Turrialba, Costa Rica, p.36.
- Zamora, S., García, J., Bonilla, G., Aguilar, H., Harvey, C.A. y Ibrahim, M., 2001. Uso de frutos y follaje arbóreo en la alimentación de vacunos en la época seca en Boaco, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 8(31), pp.31–38.
- Wilson JR. 1982. Environmental and nutritional factors affecting herbage quality. En: Hacker JB, editor. *Nutritional limits to animal production from pastures*. Framham Royal, UK: CAB International. pp. 111-131

Capítulo 3:

Artículo 3: Variaciones fotosintéticas y contenido relativo de agua del pasto Cayman en un sistema silvopastoril

VARIACIONES DIURNAS Y ESTACIONALES DE LA FLUORESCENCIA DE LA CLOROFILA Y EL CONTENIDO RELATIVO DE AGUA EN PASTO CAYMAN (*Brachiaria sp*) EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL

DIURNAL VARIATIONS IN CHLOROPHYLL FLUORESCENCE AND RELATIVE WATER CONTENT OF CAYMAN (*Brachiaria sp*) GRASS IN A SILVOPASTORAL SYSTEM

César Iván Vázquez-Ramos¹, Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi^{2*}, Miguel Ángel Salas Marina², Wel Olveín Cruz-Macías²

¹ Estudiante de la Maestría en Ciencias Agroforestales, Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (cesar.vazquez@e.unicach.mx)

² Cuerpo Académico Agroforestería y Desarrollo Rural, Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (alfredo.rodriguez@unicach.mx, miguel.salas@unicach.mx, wel.cruz@unicach.mx).

* Autor de correspondencia: alfredo.rodriguez@unicach.mx

RESUMEN

Los cambios producidos en el microclima de un sistema silvopastoril generalmente están asociadas al efecto de la sombra producida por los árboles dispersos y pudieran incidir en la eficiencia fotosintética y el estatus hídrico de los pastos. Para conocer los cambios producidos en el funcionamiento del fotosistema II a través de la fluorescencia de la clorofila, así como en la concentración de clorofilas, el contenido relativo de agua, masa foliar específica, la densidad y dimensiones de los estomas en un sistema silvopastoril compuesto por pasto CAYMAN (*Brachiaria sp.*) crecido a pleno sol y bajo árboles dispersos se establecieron cinco parcelas experimentales distribuidas al azar en un potrero de una hectárea de superficie. Se observaron variaciones diurnas en las variables del microclima asociadas a las épocas de lluvia y sequía con incrementos significativos en la radiación fotosintéticamente activa y la temperatura diurna del aire a pleno sol a las 12:00 h y las 16:00 h. Los registros de humedad relativa fueron similares a plena exposición solar y bajo los árboles dispersos. La fluorescencia inicial (F_o), máxima (F_m), variable (F_v) y la concentración de clorofilas fueron superiores en las plantas crecidas bajo los árboles dispersos, al igual que el índice de potencial fotosintético (PI_{ABS}) en época de

lluvia. Las plantas crecidas bajo árboles dispersos mostraron mayor contenido relativo de agua en sus hojas durante todo el día. Estos hallazgos indican que el pasto *Brachiaria* híbrido cv. CIAT BRO2/1752 se aclimata bien a la sombra de los árboles dispersos en un sistema silvopastoril.

Palabras clave: Microclima, fotosíntesis, masa foliar específica, estomas

ABSTRACT

The changes produced in the microclimate of a silvopastoral system are generally associated with the effect of the shade produced by the dispersed trees and could affect the photosynthetic efficiency and water status of the pastures. To determine the changes produced in the functioning of photosystem II through chlorophyll fluorescence, as well as in chlorophyll concentration, relative water content, specific leaf mass, density and dimensions of stomata in a silvopastoral system composed of CAYMAN grass (*Brachiaria sp.*) grown in full sun and under scattered trees, five experimental plots randomly distributed in a paddock of one hectare were established. Diurnal variations in microclimate variables associated with the rainy and dry seasons were observed with significant increases in photosynthetically active radiation and diurnal air temperature in full sun at 12:00 h and 16:00 h. Relative humidity records were similar at full sun and under scattered trees. Initial (F_0), maximum (F_m), variable (F_v) fluorescence and chlorophyll concentration were higher in plants grown under scattered trees, as was the photosynthetic potential index (PI_{ABS}) in rainy season. Plants grown under scattered trees showed higher relative water content in their leaves throughout the day. These findings indicate that the hybrid *Brachiaria grass* cv. CIAT BRO2/1752 acclimates well to the shade of scattered trees in a silvopastoral system.

Key words: Microclimate, photosynthesis, specific leaf mass, stomata.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) representan una alternativa a la producción ganadera intensiva, al considerar en un mismo espacio la presencia de árboles, ya sea bajo diseños predefinidos o con árboles dispersos, pastos y animales. Estos sistemas poseen ventajas con relación a los sistemas ganaderos tradicionales, al aprovechar las bondades de los árboles utilizados en el mismo. Se ha demostrado que los SSP disminuyen hasta en 35% la erosión de los suelos (Giraldo y Chará, 2022) e incrementan la biodiversidad (Chará-Serna y Chará, 2020) al formar parches que favorecen el hábitat de la fauna silvestre (Murgueitio y Ibrahim,

2008). Por otra parte, los árboles dispersos atenúan la intensidad de la radiación solar incidente y como consecuencia se disminuyen significativamente la temperatura. Al respecto, Cuartas et al. (2014) encontraron que la cobertura de árboles en los silvopastoriles redujeron la radiación solar directa sobre el suelo y como consecuencia evitaron la pérdida de humedad. Estas modificaciones, pudieran tener un efecto en los patrones de crecimiento y en la asimilación de CO₂ de los pastos. Si bien es cierto que los pastos al ser especies de tipo C4, pueden crecer y desarrollarse bien bajo altos rangos de temperatura, resulta importante estudiar localmente las respuestas fotosintéticas de los mismos ante las variaciones del microclima impuestos por los árboles sombreadores en un sistema silvopastoril.

Las plantas de ambientes tropicales crecen con alta disponibilidad de recursos naturales como agua, luz y temperatura. Estos recursos son esenciales para el desarrollo de todas las plantas y dentro de estos la radiación solar, tanto desde el punto de vista de la cantidad como la calidad de la luz, resulta el factor del clima más determinante para que las plantas expresen su máximo potencial productivo. Particularmente el manejo de las plantas forrajeras, si no presentan limitaciones en la disponibilidad de agua y con niveles adecuados de fertilidad del suelo, se basa en la máxima eficiencia de interceptación de la energía luminosa (Pedreira *et al.*, 2009).

Está documentado que la intensidad lumínica modifica los procesos de asimilación de CO₂, experimentando alteraciones y variación en la fotosíntesis asociados a los factores ambientales (Mathur *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2020). Dado que las altas intensidades de radiación solar y temperaturas a las que se exponen las plantas que crecen a pleno sol pueden provocar determinados tipos de estrés en las plantas, se necesitan herramientas para estudiar tales afectaciones. Una de las vías para conocer si las plantas se encuentran estresadas ante las variaciones de factores externos es el estudio de la fluorescencia de la clorofila. A través de la cuantificación de la fluorescencia de la clorofila se pueden llegar a conocer la cantidad de energía que se absorbe, se disipa en forma de calor o se re emite a la atmósfera en forma de fluorescencia (Benavides-Mendoza y Francisco-Francisco, 2022) y es de mucha utilidad para estudiar el efecto del estrés abiótico en las plantas. Baker y Rosenqvist (2004) propusieron la relación Fv/Fm como una buena herramienta para detectar el estrés por altas temperaturas. Calatayud *et al.* (2006) estudiaron el efecto del estrés por exceso de ozono en sandias, observando una disminución significativa en Fv/Fm en las plantas afectadas debido al cierre de

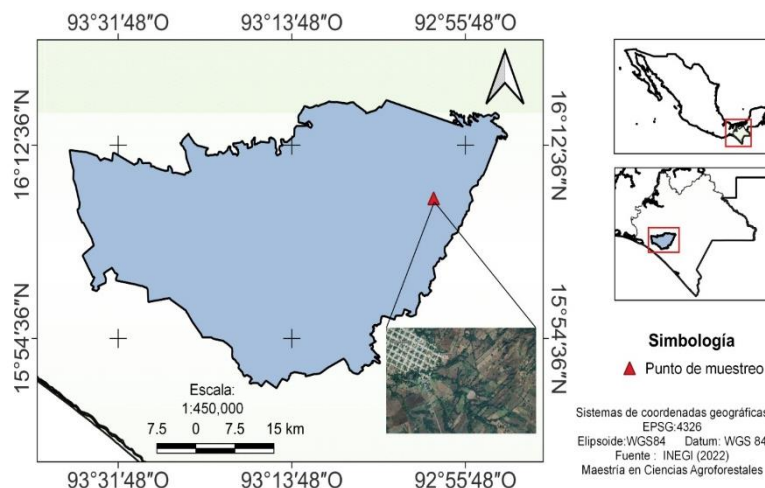
centros de reacción del fotosistema II (PSII) o declive fotoquímico (qP) y a un aumento del declive no fotoquímico (NPQ). La relación entre el estado operativo del PSII y la asimilación de CO₂ en las hojas permite que la fluorescencia pueda ser utilizada para detectar diferencias en la respuesta de las plantas a los factores medioambientales y, por consiguiente, para la detección de estrés ambiental (Baker, 1996).

Por lo cual es objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia del fotosistema II y las características estomáticas, así como estudiar los cambios producidos en el contenido hídrico foliar del pasto Cayman (*Brachiaria sp.*) en un sistema silvopastoril con árboles dispersos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Se diseñó una investigación de tipo experimental en condiciones de campo para estudiar las respuestas ecofisiológicas del pasto CAYMAN (*Brachiaria* híbrido cv. CIAT BRO2/1752) de 57 días de sembrado, en un sistema silvopastoril bajo árboles dispersos y pleno sol. El experimento se localizó en la colonia Valle Morelos del Municipio de Villa Corzo, Chiapas, México, a una altitud de 560 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas 16°36'5" N y 92°59'48" W (Figura 1). El clima predominante del área de estudio se califica como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 14-26 °C (INEGI, 2010).



Las características físico químicas del suelo a pleno sol mostraron un pH moderadamente ácido con moderada capacidad de retención de agua y nutrientes. Libre de carbonatos y de sales, bajo nivel de calcio y pobre en fósforo disponible. Deficiente en potasio y con muy bajo contenido de azufre. En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes, el suelo posee alto contenido de zinc, moderadamente bajo en manganeso y muy pobre en boro. Bajo los árboles dispersos el suelo mostró pH moderadamente ácido, de textura media. Libre de carbonatos y de sales. Muy bajo nivel de calcio, pobre en fósforo disponible y deficiente en potasio; muy bajo contenido de azufre, elevado contenido de zinc, bajo contenido de cobre y muy pobre en boro (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Características químicas del suelo en las parcelas a plena exposición solar y bajo los árboles dispersos.

| Variante experimental | MO (%) | P (Bray) | K | Ca | Mg | Na | Fe | Zn | Mn | Cu | B | Al |
|-----------------------|--------|----------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | ppm | | | | | | | | | | | |
| Pleno sol | 1.2 | 4.30 | 51.70 | 537.00 | 236.00 | 51.90 | 91.90 | 77.40 | 4.64 | 0.83 | 0.13 | 3.63 |
| Árboles dispersos | 1.93 | 4.07 | 51.40 | 500.00 | 183.00 | 25.00 | 97.90 | 15.70 | 11.80 | 0.48 | 0.15 | 8.26 |

Tabla 2. Características físicas del suelo en las parcelas a plena exposición solar y bajo los árboles dispersos.

| Variante experimental | Punto de saturación (%) | Capacidad de campo (%) | Punto Marchitez. Permanente (%) | Conductividad hidráulica (cm·h) | Densidad aparente (g·cm ³) | pH |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|------|
| Pleno sol | 25.20 | 13.20 | 7.85 | 0.10 | 1.38 | 6.48 |
| Árboles dispersos | 31.00 | 16.40 | 9.76 | 6.00 | 1.33 | 6.12 |

Diseño experimental

En un sistema silvopastoril de una hectárea de superficie, se delimitaron cinco bloques al azar de 3 x 3 m por cada variante experimental conformadas por pasto bajo árboles dispersos (sistema silvopastoril) y a plena exposición solar y cercados para evitar daños del ganado vacuno en pastoreo. Los árboles de sombra predominantes fueron *Guazuma ulmifolia* Lam (14 árboles), *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (9 árboles), *Poeppigia procera* (Poepp. ex Spreng. (6 árboles) y *Calycophyllum candidissimum* (Vahl) DC. (4 árboles), para una densidad de 33 árboles por hectárea, dispersos dentro del sistema con promedio de edad, diámetro de la copa y diámetro a la altura del pecho (DAP) de 16 años, 8 m y 48 cm respectivamente.

Caracterización del microclima

Desde el mes de julio 2022 hasta abril de 2023 se registraron las variaciones diurnas de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la temperatura diurna del aire, humedad relativa, humedad y temperatura del suelo, siguiendo los procedimientos que se describen a continuación.

Densidad del flujo fotónico fotosintético (RFA)

Para determinar la densidad del flujo fotónico fotosintético ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), se realizaron las mediciones a las 06:00, 12:00 y 17:00 horas, registrándose los valores dentro del rango de longitud de onda de 400-700 nm (Radiación Fotosintéticamente Activa, RFA). El sensor del equipo (Sensor Quantum Flux, Apogee Instruments®) se colocó en el centro de la parcela a un metro por encima del nivel del suelo y a 1.5 m del tronco de los árboles de sombra. Para registrar la RFA a plena exposición solar el sensor se colocó en el centro de las parcelas expuestas evitando el efecto de la sombra proyectada por los árboles.

Humedad relativa y temperatura del aire

Los datos de temperatura diurna del aire (°C) y humedad relativa (%) se registraron a las 06:00, 12:00 y 16:00 horas, colocando una microestación climática WatchDog® en el centro de cada bloque por cada variante experimental a una altura de un metro por encima del nivel del suelo.

Humedad y temperatura del suelo

En el centro de cada bloque, a 1.5 m de distancia del tronco de los árboles de sombra y a una profundidad de 20 cm se colocó el sensor de un medidor de temperatura, humedad del suelo y

conductividad eléctrica ProCheck[®]. Los registros en la variante expuesta a plena exposición solar se realizaron a la misma profundidad en el centro de cada parcela a las 06:00, 12:00 y 16:00 horas.

Concentración de clorofilas totales

La concentración de clorofilas totales se realizó con un medidor portátil MC-100 (Apogee Instruments[®]), tomando una lectura de una hoja de la parte central de 12 plantas por variante experimental a las 06:00, 12:00 y 16:00 horas.

Densidad estomática

Se tomaron huellas epidérmicas en una hoja de la parte media de cada una de las 12 plantas seleccionadas por cada variante experimental, utilizando la técnica de impresiones epidérmicas con esmalte transparente de uñas. El conteo estomático se realizó de la parte central de las muestras para evitar variabilidad (Sharma y Rai, 1989), con un microscopio ocular (ZEISS AxioLab 5) conectado a una cámara fotográfica.

Fluorescencia de la clorofila

Las mediciones de fluorescencia de la clorofila se realizaron con un Fluorómetro OS-30p+ (OptiScience[®]) a las 06:00, 12:00 y 16:00 horas en 10 plantas por variante experimental, siguiendo el protocolo OJIP (Strasser et al., 2000), previa aclimatación de las hojas durante 20 minutos a la oscuridad. Los parámetros registrados fueron fluorescencia inicial (F_0), fluorescencia máxima (F_m), fluorescencia variable (F_v), producto cuántico máximo de la fotoquímica primaria (F_v/F_m), así como índice de funcionamiento de la fotosíntesis (PI_{ABS}) de acuerdo con González-Moreno et al. (2008).

Contenido relativo de agua (CRA)

Se tomaron dos discos foliares de 0.92 cm^2 de diámetro de hojas de la parte central de seis plantas seleccionadas al azar en cada variante experimental. Los discos se pesaron inmediatamente para determinar el peso fresco (PF). Luego fueron colocadas en recipientes con agua destilada hasta peso constante para determinar el peso turgente (PT). Los discos foliares fueron colocados en bolsas de papel completamente selladas y trasladadas al laboratorio y

colocadas en una estufa a 80 °C durante 72 horas para determinar el peso seco (PS). El CRA se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$\text{CRA} = \frac{(\text{PF} - \text{PS})}{(\text{PT} - \text{PS})} \cdot 100$$

Masa foliar específica

Esta variable se calculó para evaluar posibles variaciones en la translocación de biomasa desde y hacia las hojas por el efecto de la radiación fotosintéticamente activa incidente como consecuencia de la sombra de los árboles dispersos y el efecto de mayor radiación solar incidente a pleno sol. Se determinó dividiendo el peso seco de los discos foliares tomados para el cálculo del CRA y dividiéndolo entre el área de cada disco (0.92 cm²). Los cálculos se realizaron para los mismos muestreos a las 06:00, 12:00 y 16:00 horas y los datos se expresaron en mg cm².

Análisis estadístico

Se calcularon las medias y el error estándar de cada variable y se graficaron en función de las horas del día por cada variante experimental. El efecto de las variantes experimentales (pleno sol y árboles dispersos) se demostraron a través de pruebas de T de Student y se calcularon las matrices de correlación entre los parámetros de fluorescencia de la clorofila, concentración de clorofilas, CRA y masa foliar específica vs las variables del microclima.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variaciones diurnas en el microclima

A partir del mediodía (12:00 y 17:00 h), se observaron incrementos significativos en la radiación fotosintéticamente activa (RFA) en la variante expuesta a pleno sol (Figura 2). En la variante bajo la sombra de los árboles dispersos, la RFA apenas alcanzó valores cercanos a 400 μmol m⁻² s⁻¹ en época de seca a las 12:00 y 16:00 horas respectivamente; mientras que a pleno sol, a las 12:00 horas se registraron valores superiores a los 1400 μmol m⁻² s⁻¹ representando incrementos del 85% a pleno sol al medio día.

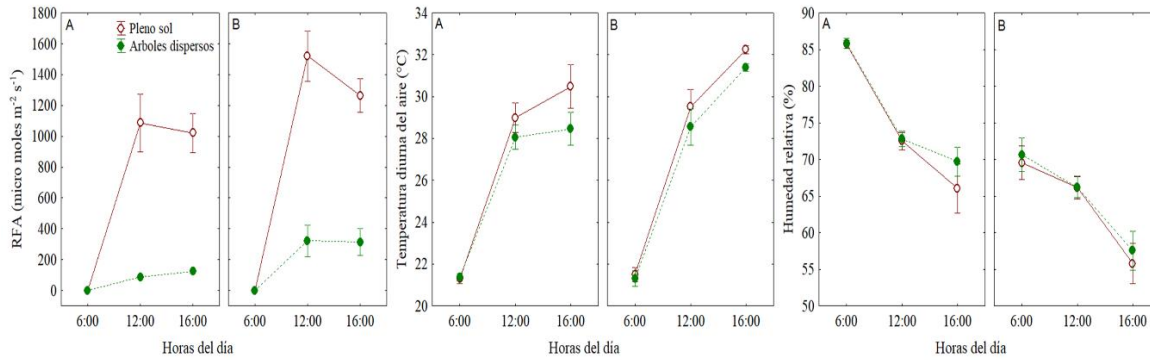


Figura 2. Variaciones diurnas de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura del aire y humedad relativa a pleno sol y bajo árboles dispersos en un sistema silvopastoril en época de lluvia (A) y de sequía (B).

La temperatura diurna del aire siguió el mismo patrón, siendo mayor a pleno sol a las 12:00 y 16:00 horas, en ambas épocas del año (Figura 2). La humedad relativa disminuyó linealmente en el transcurso del día, sin diferencias significativas entre ambas variantes experimentales durante el día ni en las dos épocas de muestreo, lo cual corrobora el efecto producido por los árboles de sombra en los sistemas silvopastoriles, afectando la cantidad y la calidad de la luz en el microclima del sotobosque llegando a reducir la temperatura e incrementar la humedad relativa del aire (Karvatte *et al.*, 2016). Según Pezzopane *et al.* (2015), en los sistemas silvopastorales se producen cambios en la temperatura máxima del aire cerca de los árboles y en la humedad relativa media, en comparación con pleno sol. Estos cambios en el microclima pudieran alterar los patrones de respuesta fisiológica en el dosel de los pastos (Abraham *et al.*, 2014, De Oliveira *et al.*, 2020). Estas respuestas están bajo la influencia de una interacción dinámica y compleja con el microambiente y sus características específicas, que pueden trascender a las características climáticas del aire y modificar, por ejemplo, la dinámica de la humedad del suelo, así como su temperatura, tal como se demostró en esta investigación. La temperatura del suelo fue mayor, a pleno sol durante la época de lluvias y en horas de la mañana, al medio día; mientras que, en época de sequía, durante el mediodía y a las 16:00 horas, el suelo mostró mayor temperatura (Figura 3). La humedad del suelo fue mayor a pleno sol que bajo los árboles dispersos en época de lluvia y mostró una tendencia a disminuir al medio día, sobre todo en época de sequía, para luego recuperarse en horas de la tarde.

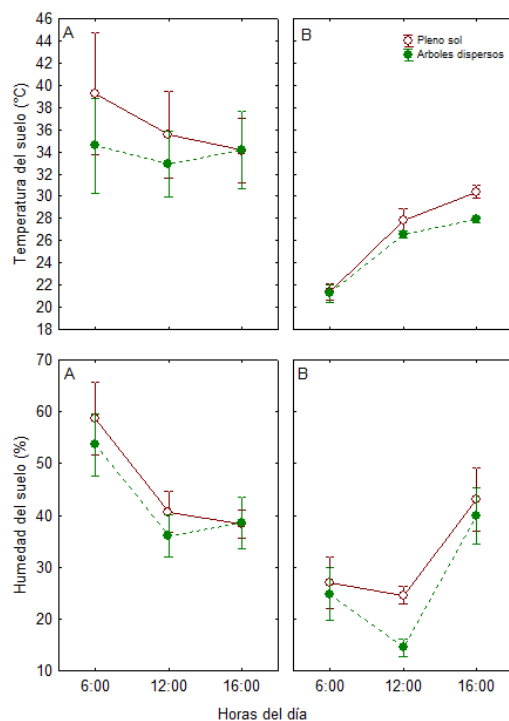


Figura 3. Variaciones diurnas de la temperatura y la humedad del suelo a pleno sol y bajo árboles dispersos en un sistema silvopastoral en época de lluvia (A) y de sequía (B).

Los incrementos en la humedad del suelo a pleno sol ya han sido reportados con anterioridad en otros agroecosistemas. Velasco *et al.* (2001), reportaron en cafetales a pleno sol mayores valores de humedad del suelo y se lo atribuyeron en parte al efecto que pueden ejercer los árboles de sombra evitando el rocío y reteniendo parte de las precipitaciones. Igualmente, los árboles de sombra absorben grandes cantidades de agua y esta se mueve hacia las zonas más profunda del suelo provocando que disminuya la disponibilidad de agua en las capas superficiales del suelo.

Variaciones diurnas de la fluorescencia de la clorofila

La fluorescencia inicial (F_0) fue mayor en los pastos crecidos bajo los árboles dispersos, sobre todo al medio día y a las 16:00 horas en época de sequía (Figura 4). En época de lluvia, a las 06:00 horas se registraron diferencias significativas a favor de las plantas crecidas bajo los árboles dispersos, para luego disminuir linealmente a las 12:00 y 16:00 horas. La fluorescencia máxima fue mayor en las plantas crecidas bajo la sombra de los árboles dispersos y en época de lluvia. En época de sequía además de registrarse mayor diferencia a favor de las plantas

sombreadas, se observó una disminución lineal desde horas tempranas de la mañana (06:00 horas), el medio día y horas de la tarde (16:00 horas).

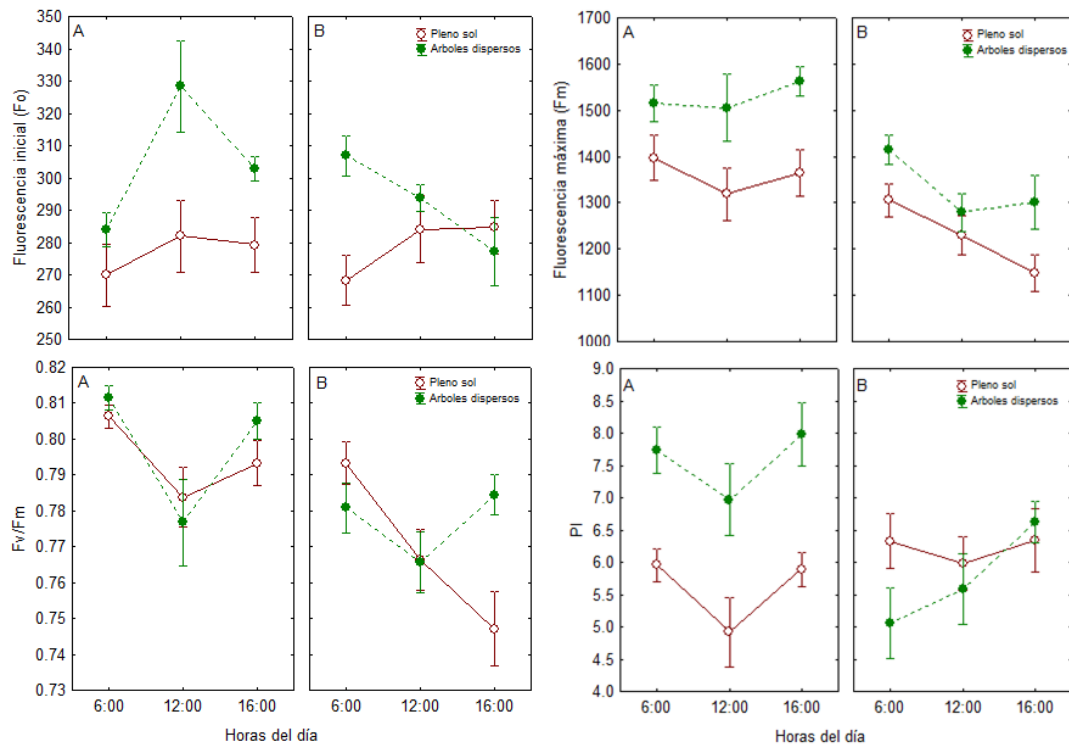


Figura 4. Parámetros de la fluorescencia de la clorofila a pleno sol y bajo árboles dispersos en un sistema silvopastoril en época de lluvia (A) y de sequía (B).

El rendimiento cuántico de la fotoquímica primaria (F_v/F_m) no mostró diferencias significativas entre las variantes experimentales, excepto a las 16:00 horas en época de sequía (Figura 4). En horas de la mañana los valores del rendimiento cuántico estuvieron cercanos a 0.80, similares a los reportados por Matos *et al.*, (2009); sin embargo, el índice de potencial fotosintético (PI_{abs}) fue mayor en las plantas sombreadas en época de lluvia, mientras que en condiciones de escasez de agua sólo se observaron incrementos significativos a favor de las plantas crecidas a pleno sol a las 06:00 horas.

Variaciones diurnas del contenido relativo de agua, de clorofilas y la masa foliar específica

Las plantas crecidas bajo los árboles dispersos mostraron mejor estado hídrico que las crecidas a pleno sol durante todo el día. En ambas variantes experimentales se observaron disminuciones del CRA al medio día, con una tendencia a la recuperación en la época de sequía en ambas variantes experimentales. Se observó un incremento consistente en la concentración de clorofilas totales (a+b) en las hojas de las plantas crecidas bajo los árboles dispersos en comparación con las plantas expuestas al sol, tanto en época de lluvia como de sequía (Figura 5).

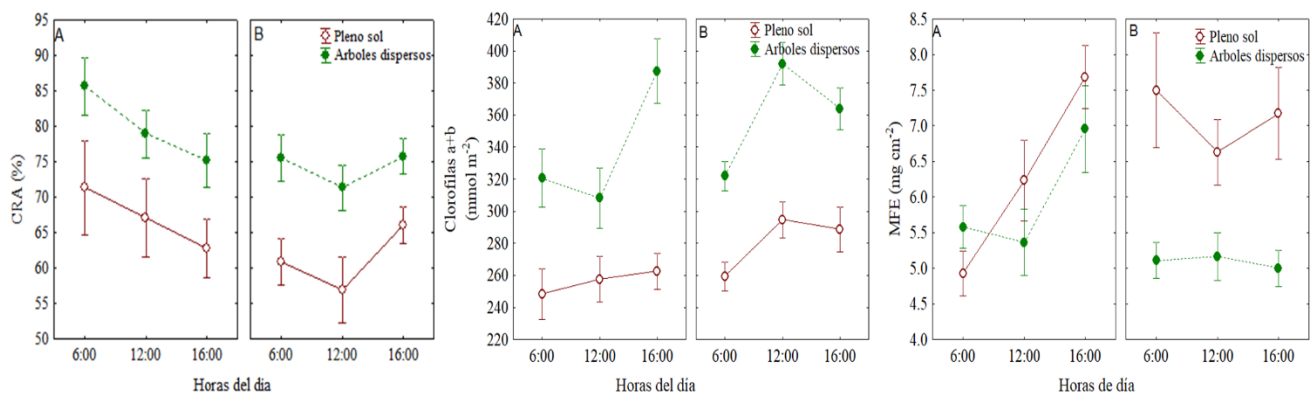


Figura 5. Variaciones diurnas del contenido relativo de agua (CRA), concentración de clorofilas totales (a+b) y masa foliar específica a pleno sol y bajo árboles dispersos en un sistema silvopastoral en época de lluvia (A) y de sequía (B).

Se registraron además variaciones diurnas en el contenido de estos pigmentos, con una tendencia al incremento en horas de la tarde. En este sentido, los hallazgos más recientes sobre las variaciones diurnas de la clorofila son los publicados por Casierra-Posada et al., (2012) en plantas de caléndula (*Calendula officinalis* L.) cultivadas al sol y bajo sombra, quienes reportaron incrementos en la concentración de clorofilas desde las 06:00 a las 18:00 horas y lo atribuyeron al proceso reversible clorofila-leucoclorofila.

Las diferencias en la acumulación de biomasa por unidad de áreas foliar a favor de las plantas crecidas en el ambiente con mayor RAF fue más notable en época de sequía (Figura 5), mientras que, en época de lluvia, aunque se observó una tendencia al incremento de la masa foliar específica en las plantas crecidas al sol en las horas del medio y tarde, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Variaciones estacionales de la fluorescencia de la clorofila, contenido relativo de agua, concentración de clorofilas y masa foliar específica

Al comparar los diferentes parámetros de la fluorescencia de la clorofila, la concentración de clorofilas, el contenido relativo de agua y la masa foliar específicas en las plantas crecidas a pleno sol y bajo árboles dispersos (Tabla 3) en las épocas de lluvia y de sequía, se observó que la fluorescencia inicial (F_o), variable (F_v) y máxima (F_m) fueron consistentemente mayores en las plantas crecidas bajo la sombra de los árboles dispersos tanto en época de lluvia como de sequía. Sin embargo, el rendimiento cuántico de la fotoquímica primaria (F_v/F_m) no se modificó con el nivel de exposición solar impuesto por los árboles dispersos, aunque en época de lluvia, el índice de potencial fotosintético fue mayor en primavera y bajo los árboles dispersos (Tabla 3). De estos resultados se infiere que altas radiaciones solares afectan el rendimiento cuántico de la clorofila y también el índice de potencial fotosintético, presumiblemente debido a daños por foto inhibición y que se vieron reflejados en los coeficientes de correlación negativos observados entre F_m , F_v , F_v/F_m y PI_{ABS} (Tabla 5).

La masa foliar específica, un indicador que suele ser mayor en las plantas expuestas al sol, fue significativamente superior en las plantas crecidas a plena exposición solar pero sólo en época de sequía.

Fahl *et al.* (1994) reportaron incrementos en la masa foliar específica en cafetos expuestos a pleno sol en comparación con las plantas sombreadas y lo relacionaron con incrementos en el mesófilo de las hojas fundamentalmente debido a incrementos en los parénquimas de empalizada y lagunar. De igual manera se han reportado evidencias de que las plantas sombreadas poseen mayor concentración de clorofilas totales en comparación con las plantas expuestas a pleno sol (Fahl *et al.*, 1994; Rodríguez *et al.*, 2016).

Tabla 3. Parámetros de la fluorescencia de la clorofila, concentración de clorofilas a+b, contenido relativo de agua y masa foliar específicas en pasto *Brachiaria sp.* (CAYMAN) crecido bajo árboles dispersos y a pleno sol en un sistema silvopastoril en época de lluvia y de sequía.

| Época del año | VARIABLES | Pleno sol | D.E | Arboles dispersos | D.E | T de Student | p |
|---------------|-----------|-----------|-----|-------------------|-----|--------------|---|
|---------------|-----------|-----------|-----|-------------------|-----|--------------|---|

| | | | | | | | |
|--------|---|-----------|--------|-----------|--------|-------|---------|
| Lluvia | | 277.07 b | 37.49 | 305.09 a | 38.53 | -3.50 | 0.00074 |
| Sequía | Fo | 279.03 b | 39.80 | 292.60 a | 35.27 | -1.98 | 0.05048 |
| Lluvia | | 1360.27 b | 199.56 | 1528.11 a | 195.16 | -4.03 | 0.00012 |
| Sequía | Fm | 1228.18 b | 184.33 | 1332.02 a | 204.23 | -2.92 | 0.00415 |
| Lluvia | | 1083.20 b | 175.45 | 1223.02 a | 182.93 | -3.70 | 0.00037 |
| Sequía | Fv | 949.15 b | 178.00 | 1039.42 a | 191.50 | -2.67 | 0.00855 |
| Lluvia | | 0.79 | 0.03 | 0.80 | 0.03 | -0.90 | 0.36878 |
| Sequía | Fv/Fm | 0.77 | 0.04 | 0.78 | 0.03 | -1.21 | 0.22945 |
| Lluvia | | 5.59 b | 1.51 | 7.56 a | 1.86 | -5.53 | 0.00000 |
| Sequía | Piabs | 6.22 | 1.97 | 5.76 | 2.22 | 1.20 | 0.23317 |
| Lluvia | Concentración | 256.11 b | 52.78 | 338.77 a | 79.97 | -5.79 | 0.00000 |
| | de clorofilas | | | | | | |
| Sequía | ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$) | 280.87 b | 53.60 | 359.30 a | 60.11 | -7.54 | 0.00000 |
| Lluvia | | 50.13 | 21.76 | 53.24 | 17.24 | -0.75 | 0.45395 |
| Sequía | CRA (%) | 46.31 | 16.31 | 44.86 | 16.24 | 0.49 | 0.62642 |
| Lluvia | | 6.28 | 2.06 | 5.97 | 1.93 | 0.75 | 0.45773 |
| Sequía | MFE ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$) | 7.10 a | 2.88 | 5.09 b | 1.24 | 4.96 | 0.00000 |

Los datos que se transcriben en la Tabla 4 indican que las condiciones microclimáticas imperantes en las variantes experimentales influyeron significativamente, tanto en las dimensiones de las células estomáticas como en la cantidad de estomas por superficie foliar (Tabla 4, , Figura 5) lo cual presumiblemente estuvo correlacionado con el nivel de exposición a la radiación solar de ambas variantes y que ya fue observado antes por Rodríguez *et al.* (2016) en cafetos crecidos bajo diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Cuba. Estos autores demostraron que cuando el cafeto crece a mayor exposición a la radiación solar desarrolla células estomáticas más anchas, mientras que la longitud de dichas células no se modificaron significativamente, a diferencia de lo encontrado en este experimento, donde tanto el ancho como la longitud de las estomas fueron mayores en el pasto crecido a pleno sol (Tabla 4). Resultados similares fueron reportados por Matos *et al.* (2009) quienes observaron incrementos en la densidad estomática en plantas crecidas a pleno sol.

Tabla 4. Dimensiones de los estomas y frecuencia estomática en pasto *Brachiaria sp.* (CAYMAN) crecido bajo árboles dispersos y a pleno sol en un sistema silvopastoril.

| Variabes | Pleno sol | Árboles dispersos | t de Student | p |
|--|--------------------|--------------------|--------------|--------|
| Largo (μm) | 15.79 \pm 1.33 | 13.80 \pm 1.48 | 8.51 | < 0.05 |
| Ancho (μm) | 9.99 \pm 1.66 | 9.22 \pm 1.54 | 2.85 | < 0.05 |
| Densidad estomática (estomas/ mm^2) | 739.68 \pm 44.29 | 622.06 \pm 60.02 | 3.53 | < 0.05 |

Resultados similares a los reportados por Rodríguez *et al.* (2016) referentes al efecto de la sombra de los árboles sobre la frecuencia estomática se muestran en la Tabla 4. Las hojas de los pastos crecidos a mayor exposición solar mostraron mayor densidad estomática, lo cual presumiblemente influya en la capacidad de absorción de CO₂ y diferenciar el potencial fotosintético entre ambas variantes experimentales.

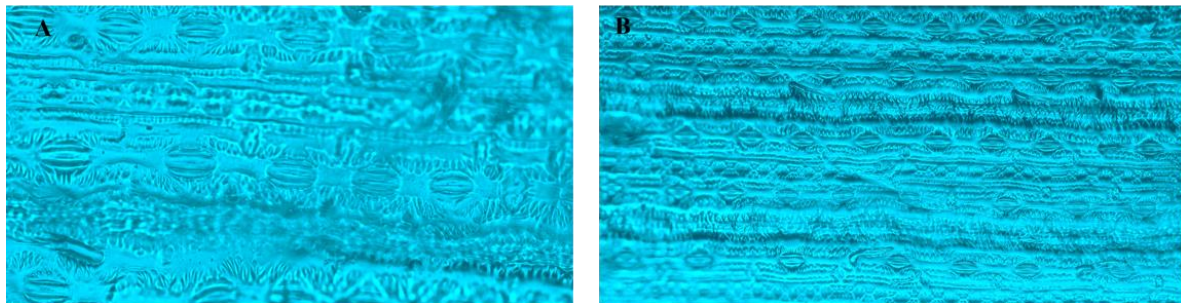


Figura 6. Frecuencia estomática en plantas del pasto Cayman (*Brachiaria sp.*) crecidos a Pleno sol (A) y Bajo árboles dispersos (B) en un sistema silvopastoril.

De la matriz de correlación entre los parámetros de la fluorescencia de la clorofila, la concentración de clorofilas, CRA y MFE con las variables del microclima en época de lluvia y sequía (Tabla 5), se infiere que las altas radiaciones solares afectaron negativamente la Fm, Fv, el rendimiento cuántico de la fotoquímica primaria (Fv/Fm). El efecto negativo de la radiación solar sobre la fluorescencia de la clorofila fue más consistente a pleno sol como era de esperarse en ambas épocas del año, en las cuales también se observaron afectaciones de la temperatura sobre la fluorescencia variable y el rendimiento cuántico de la fotoquímica primaria. La

humedad del suelo ejerció un efecto negativo sobre la concentración de clorofilas totales y el CRA a pleno sol tanto en época de lluvias como de sequía (Tabla 5).

Tabla 5. Matriz de correlación entre los parámetros de la fluorescencia de la clorofila, concentración de clorofilas, CRA y masa foliar específica con las variables del microclima.

| Variables | Pleno sol-Época de lluvias | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|
| | Fo | Fm | Fv | Fv/Fm | Piabs | Clorofilas | CRA | MFE |
| RFA | 0.12 | -0.37 | -0.45 | -0.67 | -0.54 | 0.04 | 0.14 | 0.39 |
| Temperatura diurna del aire | 0.04 | -0.27 | -0.31 | -0.44 | -0.29 | 0.04 | 0.15 | 0.27 |
| HR | -0.06 | 0.10 | 0.12 | 0.19 | 0.11 | -0.13 | -0.17 | -0.19 |
| Humedad del suelo | -0.16 | -0.02 | 0.01 | 0.15 | 0.03 | -0.31 | -0.48 | 0.03 |
| Temperatura del suelo | 0.05 | -0.13 | -0.16 | -0.22 | -0.21 | 0.05 | 0.78 | -0.36 |
| | Pleno sol-Época de sequía | | | | | | | |
| RFA | 0.12 | -0.37 | -0.45 | -0.67 | -0.54 | 0.04 | 0.14 | 0.39 |
| Temperatura diurna del aire | 0.04 | -0.27 | -0.31 | -0.44 | -0.29 | 0.04 | 0.15 | 0.27 |
| HR | -0.06 | 0.10 | 0.12 | 0.19 | 0.11 | -0.13 | -0.17 | -0.19 |
| Humedad del suelo | -0.16 | -0.02 | 0.01 | 0.15 | 0.03 | -0.31 | -0.48 | 0.03 |
| Temperatura del suelo | 0.05 | -0.13 | -0.16 | -0.22 | -0.21 | 0.05 | 0.78 | -0.36 |
| | Arboles dispersos-Época de lluvias | | | | | | | |
| RFA | 0.31 | 0.11 | 0.06 | -0.10 | -0.02 | 0.18 | -0.33 | 0.09 |
| Temperatura diurna del aire | 0.31 | -0.29 | -0.37 | -0.48 | -0.28 | 0.10 | -0.25 | 0.30 |
| HR | -0.17 | 0.21 | 0.26 | 0.30 | 0.25 | -0.11 | 0.14 | -0.20 |
| Humedad del suelo | 0.12 | 0.25 | 0.24 | 0.19 | -0.01 | -0.05 | -0.26 | 0.05 |
| Temperatura del suelo | -0.07 | -0.54 | -0.57 | -0.47 | -0.22 | -0.09 | 0.22 | 0.21 |
| | Arboles dispersos-Época de sequía | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| RFA | -0.22 | -0.30 | -0.27 | -0.19 | 0.04 | 0.66 | 0.27 | -0.16 |
| Temperatura diurna del aire | -0.48 | 0.21 | 0.30 | 0.55 | 0.65 | 0.24 | 0.02 | -0.28 |
| HR | 0.01 | 0.04 | 0.04 | -0.02 | 0.22 | 0.19 | 0.73 | 0.42 |
| Humedad del suelo | -0.30 | 0.43 | 0.50 | 0.62 | 0.65 | -0.11 | 0.37 | 0.21 |
| Temperatura del suelo | -0.34 | -0.03 | 0.03 | 0.20 | 0.36 | 0.43 | 0.25 | -0.11 |

La masa foliar específica mostró coeficientes de correlación positivos con la radiación solar, indicando que bajo estas condiciones las plantas incrementan su grosor histológico y presumiblemente las dota de mayor volumen celular interno, una característica que se ha asociado con patrones de aclimatación de las plantas a altas radiaciones solares (Matos *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

Los árboles de sombra en el sistema silvopastoril provocaron variaciones diurnas en el microclima asociadas a las épocas de lluvia y sequía con incrementos significativos en la radiación fotosintéticamente activa y la temperatura diurna del aire a pleno sol a las 12:00 h y las 16:00 h. Los registros de humedad relativa fueron similares a plena exposición solar y bajo los árboles dispersos.

La fluorescencia inicial (F_o), máxima (F_m), variable (F_v) y la concentración de clorofilas fueron superiores en las plantas crecidas bajo los árboles dispersos, al igual que el índice de potencial fotosintético (PI_{ABS}) en época de lluvia.

Las plantas crecidas bajo árboles dispersos mostraron mayor contenido relativo de agua en sus hojas durante todo el día. Estos hallazgos, junto al incremento del potencial fotosintético y mayor contenido de clorofilas totales en hojas, indican que el pasto *Brachiaria* híbrido cv. CIAT BRO2/1752 se aclimata bien a la sombra de los árboles dispersos en un sistema silvopastoril.

BIBLIOGRAFÍA

Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología Vegetal.

- Bacab, H. M., Madera, N. B., Solorio, F. J., Vera, F., & Marrufo, D. F. (2013). Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3), 67-81.
- Baker, NR y Rosenqvist, E. 2008. Las aplicaciones de la fluorescencia de la clorofila pueden mejorar las estrategias de producción de cultivos: un examen de las posibilidades futuras. *Revista de botánica experimental*, 55 (403), 1607-1621.
- Barahona, R.; Sánchez, S. 2005 Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos Vergara, JJS (2016). Las praderas, sus asociaciones y características: una revisión. *Acta Agrícola y Pecuaria* , 2 (1), 1-11.
- C.K. Ong, J.E. Corlett, R.P. Singh, C.R. Black, Above and below ground interactions in agroforestry systems, *Forest Ecology and Management*, Volume 45, Issues 1–4, 1991, Pages 45-57
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2007). *Biología*. Ed. Médica Panamericana.
- Canham, LT, Cullis, AG, Pickering, C., Dosser, OD, Cox, TI y Lynch, TP (1994). Redes de aerocristales de silicio anodizado luminiscente preparadas mediante secado supercrítico. *Naturaleza*, 368 (6467), 133-135.
- Cardona Trujillo, H., Jhony, G. V., & Camargo García, J. C. (2008). Regeneración natural de árboles maderables en pasturas como estrategia para el establecimiento de sistemas silvopastoriles en la zona cafetera de Colombia.
- Cordero Ocampo, RK (2020). La fotosíntesis y sus etapas en el proceso de producción de glucosa en las plantas (Tesis de licenciatura, BABAHOYO: UTB, 2020).
- Cuéllar, N. D., & Herrera, J. M. A. (2010). Evaluación de respuestas fisiológicas de la planta arbórea *Hibiscus rosasinensis* L.(Cayeno) en condiciones de campo y vivero. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 61-72.
- Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., & Massarini, A. (2008). *Biología*. 7ta. Edición. Editorial Médica Panamericana, España.

- Duffie, JA y Beckman, WA (1980). Ingeniería solar de procesos térmicos (p. 16591). Nueva York: Wiley.
- Espinosa G. J.A., González O., T.A., Luna E., A.A., Cuevas R. V., Moctezuma L. G., Góngora G., S.F., Jolalpa B. J.L., Vélez I. A. 2010. Administración de ranchos pecuarios con base en el uso de registros técnicos y económicos. INIFAP-CENID Microbiología. Libro Técnico Núm. 2. México, D. F., México. 218
- FAO. 2000. Organic agriculture at FAO.
- FIRA. 2010. Tendencias y oportunidades del desarrollo de la lechería en México. Boletín informativo. No. 317, Vol. XXIII FIRA Banco de México, México
- Gianoli, E. (2004). Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. Fisiología ecológica en plantas. Mecanismos y Respuestas a Estrés en los ecosistemas, 13-25.
- Hernández, M., & Guenni, O. (2008). Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). *Zootecnia Tropical*, 26 (4), 439-453.
- Hernández-Martínez, J; Rebollar Rebollar, S; González Razo, F.J; Guzmán Soria, E; Albarrán Portillo, B; García Martínez, A. 2011. La cadena productiva de ganado bovino en el sur del estado de México. *Quinta Época*. Volumen 2. 672-680.
- INIFAP. (2008). Coeficientes de agostadero para San Luis Potosí. Revisado en mayo 26 de 2023 de:
<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1237/472.pdf>
- Kobe, RK (1999). División del gradiente de luz entre especies de árboles tropicales a través de la mortalidad y el crecimiento diferenciales de las plántulas. *Ecología*, 80 (1), 187-201.
- Kohen, E., Santus, R. y Hirschberg, JG (1995). *Fotobiología*. Elsevier.
- Krause, AG y Weis, E. (1991). Fluorescencia de clorofila y fotosíntesis: conceptos básicos. *Revisión anual de biología vegetal*, 42 (1), 313-349.
- Martín, R., & Cañizares, P. J. (2018). Respuesta del pasto cayman (*Brachiaria* híbrido cv. Ciat Bro2/1752) al déficit hídrico. *Cultivos Tropicales*, 39(1), 113-118.

- Maxwell, K. y Johnson, GN (2000). Fluorescencia de clorofila: una guía práctica. *Revista de botánica experimental*, 51 (345), 659-668.
- Morales Curi, S. (2017). Respuesta fisiológica de dos variedades de papas nativas (*Solanum Tuberosum* Sp. Andígena) de Huancavelica “Yana Manwa” Y “Yuraq Gaspar” frente a estrés térmico.
- Murphy, A. y Taiz, L. (1995). Comparación de la expresión del gen metalotioneína y tioles no proteicos en diez ecotipos de *Arabidopsis* (correlación con la tolerancia al cobre). *Fisiología vegetal*, 109 (3), 945-954.
- Musálem, M. A. (2002). Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8: 91-100.
- Niinemets, U. (2007). Fotosíntesis y distribución de recursos a través de las cubiertas vegetales. *Planta, célula y medio ambiente*, 30 (9), 1052-1071.
- OSMOND, C.B. What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and Sun plants. In: Baker, N.R.; Bower, J.R. (eds). *Photoinhibition of photosynthesis: from molecular mechanisms to the Field*. BIOS Scientific Publishers ltda, Oxford. p1-24. 1994.
- Pinto Ruíz, R., Ortega Reyes, L., Gómez Castro, H., Guevara Hernández, F., & Hernández Sánchez, D. (2014). Comportamiento animal y características de la dieta de bovinos pastoreando estrella africana sola y asociada con árboles. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 5(3), 365-374.
- Pizarro, E. A., Hare, M. D., Mutimura, M., & Changjun, B. (2013). *Brachiaria* hybrids: potential, forage use and seed yield. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(1), 31-35.
- Quick, W. P., & Horton, P. (1984). Studies on the induction of chlorophyll fluorescence in barley protoplasts. II. Resolution of fluorescence quenching by redox state and the transthylakoid pH gradient. *Proceedings of the Royal society of London. Series B. Biological sciences*, 220(1220), 371-382.

- Rodríguez-Larramendi, L. A. R.; Hernández, F. G.; Castro, H. G.; Flores, M. F.; Castañeda, J. C. G. y Ruiz, R. P. 2016. Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agron.* 65(3):248-
- Romero, E., & Rivas, J. (2016). Comportamiento del pasto *Brachiaria* híbrido Cayman en vacunos de carne postdestete en los llanos centro occidentales de Venezuela. Recuperado de <http://guiagronicaragua.com/wp-content/uploads/2017/08/Articulo-Pasto-Cayman-Guanarito-Venezuela-2016.pdf>.
- Rossner, M. B., Kimmich, G., & Eclesia, R. P. (2017). Acumulación de carbono y su dinámica en forestaciones, sistemas silvopastoriles y pastizales en el NE de la provincia de Corrientes, Argentina. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones.
- Russell, G., Jarvis, P. G., & Monteith, J. L. (1989). Absorption of radiation by canopies and stand growth. *Plant canopies: their growth, form and function*, 31, 21-39.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Estadísticas Pecuarias. <http://www.sagarpa.gob.mx>. 21/08/17
- Sage, R. F., & Pearcy, R. W. (2000). The physiological ecology of C₄ photosynthesis. *Photosynthesis: physiology and metabolism*, 497-532.
- Salisbury, F. B., Ross, C. W., González Velázquez, V., Palacios Martínez, R., & Philip, G. (1994). *Fisiología vegetal*.
- Sarabia-Salgado, L., Solorio-Sánchez, FJ, Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Ku-Vera, JC, & Caamal-Maldonado, A. (2013). Efecto de la frecuencia de defoliación sobre el rendimiento de forraje de sistemas silvopastoriles intensivos en comparación con un pastizal de monocultivo.
- Silva Restrepo, L. A. (2007). Diagnóstico de bienes y servicios ambientales del páramo de Belmira. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Valladares, F., Hernández, LG, Dobarro, I., GARCÍA-PÉREZ, CRISTINA, Sanz, R., & Pugnaire, FI (2003). La proporción entre el área foliar y el área fotosintética total influye

en la supervivencia a la sombra y la respuesta plástica a la luz de las plántulas de arbustos leguminosos de tallo verde. *Anales de Botánica*, 91 (5), 577-584.

Vendramini, J., B. Sellers, L.E. Sollenberger. y M. Silveira. 2014. Mulato II (*Brachiaria* sp.) SS AGR 303. University of Florida/IFAS Extension.

DISCUSIÓN GENERAL

La presencia de árboles dispersos en un sistema silvopastoril modifica las variables del microclima, fundamentalmente aquellas relacionadas directamente con la radiación solar incidente. La atenuación de la radiación solar por los árboles de sombra disminuye la temperatura diurna del aire, incrementan la humedad relativa, mientras que a plena exposición solar los niveles de humedad del suelo aumentan. Estas variaciones en el microclima han sido reportados en otros agroecosistemas, como por ejemplo en cafetales al sol y bajo sombra (Velasco *et al.*, 2021), aunque los posibles efectos de la eliminación de la sombra en ecosistemas ya habían sido descritos con anterioridad por Baradas y Fanjul (1984) quienes alertaron sobre los efectos en la disminución de la humedad del suelo a pleno sol debido al incremento de la evaporación y como consecuencia menor contenido hídrico en las capas superficiales del suelo, hallazgos que no coinciden con nuestros resultados que demuestran que la sombra de árboles dispersos provocan disminución de la humedad del suelo, probablemente debido a la absorción de agua por las raíces de los árboles y a la mayor evapotranspiración bajo sombra. Sin embargo, los efectos de la sombra de los árboles dispersos en diferentes ecosistemas suelen ser complejos, puesto que dependen de disímiles factores, entre los que podemos citar las características de los árboles sombreadores, el diámetro de la copa de dichos árboles, la latitud y altitud de los sitios estudiados, entre otros. Asimismo, el efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas sombreadas también suele ser complejo. En esta investigación, se demuestra que los pastos crecidos bajo la sombra de los árboles dispersos, a pesar de mostrar menor crecimiento, se afectan menos en época de lluvia que las plantas crecidas a pleno sol. Es muy probable que la intensidad del metabolismo sea más intensa a pleno sol que bajo la sombra de los árboles dispersos de ahí que se adapten bien a la sombra y muestren mayor duración del follaje, afectándose menos la pérdida de biomasa al disminuir las lluvias. Al respecto se ha documentado que el microclima en un sistema silvopastoril, por su dinámica, determinada fundamentalmente por las fluctuaciones en la radiación solar, temperatura del aire y humedad relativa (Pezzopane *et al.*, 2015), influye sobre la producción de forraje en los pastos (Pontes *et al.*, 2016). Los incrementos en el área foliar específica en las plantas crecidas bajo sombra en la estación lluviosa indican respuestas adaptativas del pasto a la sombra (Gómez *et al.*, 2013), mientras que los incrementos de la masa foliar específica a plena exposición solar denotan cambios en la anatomía de las hojas que conducen a un mayor grosor histológico foliar para

resistir altos niveles de radiación solar evitando así afectaciones en el fotosistema II. Aun así, el incremento en la concentración de clorofilas en las plantas sombreadas denota que en estas la fotooxidación de las clorofilas es mucho menor que a pleno sol y contribuye de manera significativa a la fotoprotección del fotosistema II explicando los mayores registros en el rendimiento cuántico de la fotoquímica primaria (F_v/F_m) y el índice de potencial fotosintético. Por otra parte, los incrementos en el contenido hídrico foliar en las plantas crecidas bajo sombra denotan adaptabilidad de este pasto al sombrío en sistemas silvopastoriles. Además, si bajo estas condiciones se mantiene por más tiempo la superficie asimilatoria y mayor biomasa, sería muy conveniente el pasto Cayman en explotaciones ganaderas bajo sistemas silvopastoriles.

CONCLUSIONES GENERALES

Las variaciones del microclima en un sistema silvopastoril de árboles dispersos en el ejido de Valle Morelos Villa Corzo Chiapas, se ven afectadas por la presencia del componente arbóreo, el cual depende del tipo de especie predominante del área. La radiación PAR y la temperatura diurna del aire es atenuada significativamente por la sombra de los árboles dispersos en el sistema silvopastoril. Por lo cual, en ese sentido los pastos crecidos a plena exposición solar, estuvieron expuestos a mayor incidencia de RFA, ya que las presencias de los árboles atenúan la cantidad de luz que llega al estrato herbáceo hasta en un 90%. La temperatura es otras de las variables modificadas por los árboles, ya que a plena exposición la temperatura es superior, que bajo la sombra de los árboles. En cuanto a la humedad relativa, no se presentaron diferencias significativas.

Los pastos crecidos a plena exposición solar, presentaron una mayor altura, longitud de las raíces, número de raíces, mayor acumulación de biomasa en los distintos órganos de las plantas, en las plantas de sol se observó una mayor masa foliar específica, ya que estos están adaptados a crecer bajo estas condiciones climáticas por ser de la ruta metabólica C4.

Parámetros fotosintéticos como F_o , F_m , P_i , F_v/F_m y la concentración de clorofilas totales, fueron superiores en la variante de árboles dispersos en potrero, dichas variables, disminuyen drásticamente en temporada de estiaje. La radiación solar afectó la transferencia de energía a plena exposición solar, además de influir en el rendimiento cuántico de la fotoquímica primaria (F_v/F_m) y producto cuántico máximo de excitación fotoquímica (F_o/F_m), ocasionado una disminución en la producción de biomasa del pasto Cayman. El contenido relativo de agua (CRA) fue relativamente superior en la variante de plena exposición solar. Por otra parte, la densidad estomática fue superior a en las plantas crecidas a pleno sol.

Los resultados obtenidos de la presente investigación, son los primeros estudios eco fisiológicos en el establecimiento de pastos en un sistema silvopastoril, realizados en condiciones de campo en la región Frailesca, el cual puede ser una alternativa para los productores ganaderos de la región.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología Vegetal.
- Bacab, H. M., Madera, N. B., Solorio, F. J., Vera, F., & Marrufo, D. F. (2013). Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3), 67-81.
- Baker, NR y Rosenqvist, E. 2008. Las aplicaciones de la fluorescencia de la clorofila pueden mejorar las estrategias de producción de cultivos: un examen de las posibilidades futuras. *Revista de botánica experimental*, 55 (403), 1607-1621.
- Barradas, V.L. y L. Fanjul. 1984. La importancia de la cobertura arbórea en la temperatura del agroecosistema cafetalero. *Biótica* 9:415-421.
- Barahona, R.; Sánchez, S. 2005 Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos Vergara, JJS (2016). Las praderas, sus asociaciones y características: una revisión. *Acta Agrícola y Pecuaria* , 2 (1), 1-11.
- C.K. Ong, J.E. Corlett, R.P. Singh, C.R. Black, Above and below ground interactions in agroforestry systems, *Forest Ecology and Management*, Volume 45, Issues 1–4, 1991, Pages 45-57
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2007). *Biología*. Ed. Médica Panamericana.
- Canham, LT, Cullis, AG, Pickering, C., Dosser, OD, Cox, TI y Lynch, TP (1994). Redes de aerocristales de silicio anodizado luminiscente preparadas mediante secado supercrítico. *Naturaleza*, 368 (6467), 133-135.
- Cardona Trujillo, H., Jhony, G. V., & Camargo García, J. C. (2008). Regeneración natural de árboles maderables en pasturas como estrategia para el establecimiento de sistemas silvopastoriles en la zona cafetera de Colombia.
- Cordero Ocampo, RK (2020). La fotosíntesis y sus etapas en el proceso de producción de glucosa en las plantas (Tesis de licenciatura, BABAHOYO: UTB, 2020).

- Cuéllar, N. D., & Herrera, J. M. A. (2010). Evaluación de respuestas fisiológicas de la planta arbórea *Hibiscus rosasinensis* L.(Cayeno) en condiciones de campo y vivero. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 61-72.
- Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., & Massarini, A. (2008). *Biología*. 7ta. Edición. Editorial Médica Panamericana, España.
- Duffie, JA y Beckman, WA (1980). *Ingeniería solar de procesos térmicos* (p. 16591). Nueva York: Wiley.
- Espinosa G. J.A., González O., T.A., Luna E., A.A., Cuevas R. V., Moctezuma L. G., Góngora G., S.F., Jolalpa B. J.L., Vélez I. A. 2010. Administración de ranchos pecuarios con base en el uso de registros técnicos y económicos. INIFAP-CENID Microbiología. Libro Técnico Núm. 2. México, D. F., México. 218
- FAO. 2000. *Organic agriculture at FAO*.
- FIRA. 2010. Tendencias y oportunidades del desarrollo de la lechería en México. Boletín informativo. No. 317, Vol. XXIII FIRA Banco de México, México
- Gianoli, E. (2004). Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. *Fisiología ecológica en plantas. Mecanismos y Respuestas a Estrés en los ecosistemas*, 13-25.
- Hernández, M., & Guenni, O. (2008). Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). *Zootecnia Tropical*, 26 (4), 439-453.
- Hernández-Martínez, J; Rebollar Rebollar, S; González Razo, F.J; Guzmán Soria, E; Albarrán Portillo, B; García Martínez, A. 2011. La cadena productiva de ganado bovino en el sur del estado de México. *Quinta Época. Volumen 2*. 672-680.
- INIFAP. (2008). Coeficientes de agostadero para San Luis Potosí. Revisado en mayo 26 de 2023 de:
<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1237/472.pdf>
- Kobe, RK (1999). División del gradiente de luz entre especies de árboles tropicales a través de la mortalidad y el crecimiento diferenciales de las plántulas. *Ecología*, 80 (1), 187-201.

- Kohen, E., Santus, R. y Hirschberg, JG (1995). Fotobiología. Elsevier.
- Krause, AG y Weis, E. (1991). Fluorescencia de clorofila y fotosíntesis: conceptos básicos. *Revisión anual de biología vegetal*, 42 (1), 313-349.
- Martín, R., & Cañizares, P. J. (2018). Respuesta del pasto cayman (*Brachiaria* híbrido cv. Ciat Bro2/1752) al déficit hídrico. *Cultivos Tropicales*, 39(1), 113-118.
- Maxwell, K. y Johnson, GN (2000). Fluorescencia de clorofila: una guía práctica. *Revista de botánica experimental*, 51 (345), 659-668.
- Morales Curi, S. (2017). Respuesta fisiológica de dos variedades de papas nativas (*Solanum Tuberosum* Sp. Andígena) de Huancavelica “Yana Manwa” Y “Yuraq Gaspar” frente a estrés térmico.
- Murphy, A. y Taiz, L. (1995). Comparación de la expresión del gen metalotioneína y tioles no proteicos en diez ecotipos de *Arabidopsis* (correlación con la tolerancia al cobre). *Fisiología vegetal*, 109 (3), 945-954.
- Musálem, M. A. (2002). Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8: 91-100.
- Niinemets, U. (2007). Fotosíntesis y distribución de recursos a través de las cubiertas vegetales. *Planta, célula y medio ambiente*, 30 (9), 1052-1071.
- Osmond, C.B. (1994). What is photoinhibition? Some insights from compararisons of shade and Sun plants. In: Baker, N.R.; Bower, J.R. (eds). *Photoinhibition of photosynthesis: from molecular mechanisms to the Field*. BIOS Scientific Publishers ltda, Oxoford.p1-24. 1994.
- Pinto Ruíz, R., Ortega Reyes, L., Gómez Castro, H., Guevara Hernández, F., & Hernández Sánchez, D. (2014). Comportamiento animal y características de la dieta de bovinos pastoreando estrella africana sola y asociada con árboles. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 5(3), 365-374.

- Pizarro, E. A., Hare, M. D., Mutimura, M., & Changjun, B. (2013). Brachiaria hybrids: potential, forage use and seed yield. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(1), 31-35.
- Pezzopane, J. R. M., Bosi, C., Nicodemo, M. L. F., Santos, P. M., Cruz, P. G. D., & Parmejiani, R. S. (2015). Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. *Bragantia*, 74, 110-119.
- Quick, W. P., & Horton, P. (1984). Studies on the induction of chlorophyll fluorescence in barley protoplasts. II. Resolution of fluorescence quenching by redox state and the transthylakoid pH gradient. *Proceedings of the Royal society of London. Series B. Biological sciences*, 220(1220), 371-382.
- Rodríguez-Larramendi, L. A. R.; Hernández, F. G.; Castro, H. G.; Flores, M. F.; Castañeda, J. C. G. y Ruiz, R. P. 2016. Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agron.* 65(3):248-
- Romero, E., & Rivas, J. (2016). Comportamiento del pasto Brachiaria híbrido Cayman en vacunos de carne postdestete en los llanos centro occidentales de Venezuela. Recuperado de <http://guiagronicaragua.com/wp-content/uploads/2017/08/Articulo-Pasto-Cayman-Guanarito-Venezuela-2016.pdf>.
- Rossner, M. B., Kimmich, G., & Ecclesia, R. P. (2017). Acumulación de carbono y su dinámica en forestaciones, sistemas silvopastoriles y pastizales en el NE de la provincia de Corrientes, Argentina. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones.
- Russell, G., Jarvis, P. G., & Monteith, J. L. (1989). Absorption of radiation by canopies and stand growth. *Plant canopies: their growth, form and function*, 31, 21-39.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Estadísticas Pecuarias. <http://www.sagarpa.gob.mx>. 21/08/17
- Sage, R. F., & Pearcy, R. W. (2000). The physiological ecology of C₄ photosynthesis. *Photosynthesis: physiology and metabolism*, 497-532.

- Salisbury, F. B., Ross, C. W., González Velázquez, V., Palacios Martínez, R., & Philip, G. (1994). Fisiología vegetal.
- Sarabia-Salgado, L., Solorio-Sánchez, FJ, Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Ku-Vera, JC, & Caamal-Maldonado, A. (2013). Efecto de la frecuencia de defoliación sobre el rendimiento de forraje de sistemas silvopastoriles intensivos en comparación con un pastizal de monocultivo.
- Silva Restrepo, L. A. (2007). Diagnóstico de bienes y servicios ambientales del páramo de Belmira. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Valladares, F., Hernández, LG, Dobarro, I., GARCÍA-PÉREZ, CRISTINA, Sanz, R., & Pugnaire, FI (2003). La proporción entre el área foliar y el área fotosintética total influye en la supervivencia a la sombra y la respuesta plástica a la luz de las plántulas de arbustos leguminosos de tallo verde. *Anales de Botánica*, 91 (5), 577-584.
- Velasco, E., Verdecia, J., Medina, R., Rodríguez, L. (2001). Variaciones en el microclima de un cafetal en dependencia de la exposición a la radiación solar en las condiciones del macizo de la Sierra Maestra. *Cultivos Tropicales*, 22(3), 53-59.
- Vendramini, J., B. Sellers, L.E. Sollenberger. y M. Silveira. 2014. Mulato II (*Brachiaria* sp.) SS AGR 303. University of Florida/IFAS Extension.

Constancia de congreso



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



LA RED MEXICANA DE FISIOLÓGÍA VEGETAL (REMFIVE)
Y EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL, OTORGAN LA PRESENTE

CONSTANCIA

A:
**CÉSAR IVÁN VÁZQUEZ RAMOS, LUIS ALFREDO RODRÍGUEZ LARRAMENDI,
MIGUEL ÁNGEL SALAS MARINA, WEL OLVEÍN CRUZ MACÍAS**

POR SU PARTICIPACIÓN COMO **PONENTE** EN LA SESIÓN DE **CARTELES** CON EL TÍTULO

Respuestas ecofisiológicas del pasto Cayman (*Brachiaria spp.*) bajo regímenes variables de radiación solar

EN EL **4.º CONGRESO MEXICANO DE FISIOLÓGÍA VEGETAL**,
REALIZADO EL 26, 27 Y 28 DE OCTUBRE
EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL.

**DR. JORGE MANUEL
SANTAMARÍA FERNÁNDEZ**
Presidente REMFIVE

**DRA. CLAUDIA
GONZÁLEZ SALVATIERRA**
Responsable del
Comité Organizador

**DRA. MIRNA
VALDEZ HERNÁNDEZ**
Responsable del Comité
Organizador

**MTRO. MARIO VICENTE
GONZÁLEZ ROBLES**
Director del Instituto
Tecnológico de Chetumal

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, 2022.



COMITÉ ORGANIZADOR:

Dra. Alicia Carrillo Bastos

Dra. Casandra Reyes García

Dra. Esmeralda Judith
Cruz Gutiérrez

Dra. Martha Elena Mora Herrera

Dra. Mariana Palma Tenango

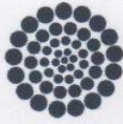
Dra. Nahleli Civi Chilpa Galván

Dra. Olivia Hernández González

Dra. Diana Jacqueline
Cisneros de la Cruz

Lic. Silvia Vergara Yoisura

Constancia de retribución social



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



**Maestría en
Ciencias
Agroforestales**

Constancia de actividades de retribución social

Ciudad de México, a 04 de agosto de 2023

A QUIEN CORRESPONDA

Presente.-

En cumplimiento a lo establecido en el **Artículo 19, Capítulo VIII. De la Conclusión de la Beca o Apoyo, del Reglamento de Becas del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías** y en el marco de la Convocatoria **BECAS CONACYT NACIONALES 2022**, hago constar que el C. **CÉSAR IVÁN VÁZQUEZ RAMOS** con número de CVU **1181426** beneficiado con una beca para obtener el grado de **MAESTRO** en el programa **MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROFORESTALES**, que se imparte en **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS SEDE VILLA CORZO**, realizó las actividades de retribución social durante el periodo de vigencia de la beca, tiempo en el que fue **alumno** regular de esta Institución.

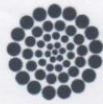
Asimismo, hago constar que, conforme a lo establecido en la Ley General de Archivos, la coordinación del posgrado organiza y conserva la evidencia documental de dichas actividades en caso de que el CONAHCYT o cualquier otra instancia la requiera.

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

DR. MIGUEL ÁNGEL SALAS MARINA

Coordinador de la Maestría en Ciencias Agroforestales





CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



**Maestría en
Ciencias
Agroforestales**

Constancia de actividades de retribución social

Actividad 1. Asesorar a jóvenes de licenciatura en su formación.

Descripción de la actividad: Capacitación, orientación y seguimiento en temas relacionados con la caracterización del microclima, determinación de la concentración de clorofilas totales, así como la fluorescencia de la clorofila y diseños experimentales.

Fecha de inicio: 08 de agosto de 2022.

Fecha de término: 28 de julio de 2023.

Institución en la que se realizó la actividad: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas sede Villa Corzo.

Nombre del responsable de supervisar la actividad: DR. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi.

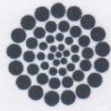
Datos de contacto del responsable de la actividad: 9656975325
alfredo.rodriguez@unicach.mx

Descripción del impacto social de la actividad: Asesoría o tutoría sobre temas relacionados con trabajos terminales o de investigación en alumnos de licenciatura, así como de maestría.

CÉSAR IVÁN VÁZQUEZ RAMOS

Nombre y firma de la persona becaria

1181426



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



**Maestría en
Ciencias
Agroforestales**

[Handwritten signature of Luis Alfredo Rodríguez Larramendi]



Vo. Bo.

[Handwritten signature]

DR. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

Nombre y firma de la persona responsable de supervisar la actividad de retribución social en el programa de posgrado
 (Director)

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
 FACULTAD DE INGENIERIA
 COORDINACION Ciencias Agroforestales
 UNIDAD ACADÉMICA VILLACORTE

[Handwritten signature]

DR. Miguel Ángel Salas Marina

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

[Handwritten signature]

DR. Wel Olveán Cruz Macías

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

Constancia de estancia



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES



Dependencia: *Anatomía y Tecnología de la Madera*

Oficio No. 602.3-11/099

Asunto: *Referente a Estancia.*
Chapingo, Estado de México a 11 de octubre de 2023.

DR. LUIS ALFREDO RODRÍGUEZ LARRAMENDI
COORDINADOR ACADÉMICO
INGENIERÍA FORESTAL
SEDE VILLA CORZO
PRESENTE

Por medio del presente tengo a bien informar que C. **Cesar Iván Vázquez Ramos**, estudiante de la Maestría en Ciencias Agroforestales de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, concluyo de manera satisfactoria la Estancia en el Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera, en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, bajo la supervisión de la que suscribe.

El C. Vázquez Ramos realizó su estancia en el periodo comprendido del 18 al 22 de septiembre de 2023. Durante este tiempo, realizó en diversas actividades de investigación, como afinar la metodología para la elaboración y montajes de cortes histológicos de pasto, así como la toma de fotografías y revisión bibliográfica.

El C. Vázquez Ramos demostró un alto grado de compromiso y dedicación durante su estancia.

Sin otro particular de momento, quedo de usted.

ATENTAMENTE

"Enseñar la Explotación de la Tierra, No la del Hombre"



DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE PRODUCTOS FORESTALES

DRA. MA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA
COORDINADORA DEL ÁREA DE
ANATOMÍA Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

C.c.p.

✓ DR. ENRIQUE SERRANO GÁLVEZ. – DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES UACH

TEL. 595 952 15 00 EXT. 5281
KM 38.5 CARRETERA MÉXICO - TEXCOCO: CHAPINGO, TEXCOCO, EDO. MÉXICO: C.P. 56230

MAMBR**sandy