

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**CARACTERIZACIÓN DE CRECIMIENTO Y FISIOLOGÍA
DE UN SISTEMA AGROFORESTAL CON *Gmelina arborea*
(Roxb), *Swietenia macrophylla* (King), *Dipteryx panamensis*
(Pittier) CON *Musa textilis* (Née) EN GUÁPILES, LIMÓN,
COSTA RICA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

ADRIANA FALLAS COSÍO

CARTAGO, COSTA RICA, 2021

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**CARACTERIZACIÓN DE CRECIMIENTO Y FISIOLÓGÍA
DE UN SISTEMA AGROFORESTAL CON *Gmelina arborea*
(Roxb), *Swietenia macrophylla* (King), *Dipteryx panamensis*
(Pittier) CON *Musa textilis* (Née) EN GUÁPILES, LIMÓN,
COSTA RICA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

ADRIANA FALLAS COSÍO

CARTAGO, COSTA RICA, 2021

Caracterización de crecimiento y fisiología de un sistema agroforestal con *Gmelina arborea* (Roxb), *Swietenia macrophylla* (King), *Dipteryx panamensis* (Pittier) con *Musa textilis* (Née) en Guápiles, Limón, Costa Rica

Characterization of growth and physiology of an agroforestry system with *Gmelina arborea* (Roxb), *Swietenia macrophylla* (King), *Dipteryx panamensis* (Pittier) with *Musa textilis* (Née) in Guápiles, Limón, Costa Rica

Adriana Fallas Cosío*

RESUMEN GENERAL

Los sistemas agroforestales son métodos de producción sostenible que combinan en un mismo sitio diferentes especies agrícolas y forestales. Al tener diferentes interacciones entre plantas es importante conocer el desarrollo y producción de los individuos. Entre las herramientas utilizadas para el manejo de los sistemas, resaltan la generación de modelos matemáticos de crecimiento y rendimiento de las especies a partir de mediciones dasométricas. También sobresale el uso de instrumentos que generan información en menor tiempo con la finalidad de tener el estado nutricional de los cultivos de forma rápida, así como evaluar la necesidad de aplicar enmiendas y fertilizantes que ayuden al crecimiento de las especies. Uno de ellos es el SPAD, equipo que, mediante la diferencia de transmisión de dos haces de luz, determina el contenido de nitrógeno foliar. Otro instrumento es el espectrofotómetro, el cual estima el color de la muestra mediante el sistema de color CIELAB, donde el contenido de clorofila está correlacionado con la intensidad del color verde. Por lo cual, la presente investigación evaluó el uso de los instrumentos SPAD y espectrofotómetro para la determinación de nitrógeno foliar utilizando métodos no destructivos de medición. Además de determinar la correlación entre el crecimiento de una especie forestal y un cultivo agrícola, y las variables climáticas.

Palabras claves: crecimiento, fisiología vegetal, sistema agroforestal.

GENERAL ABSTRACT

Agroforestry systems are sustainable production methods that combine different agricultural and forest species in one place. Since there are different interactions between the plants, it is important to know the development and production of the individuals. Among the tools used for agroforestry systems management, the generation of mathematical models of growth and species yield based on dasometric measurements stands out. As well as the use of instruments that generate information in less time to quickly obtain the nutritional status of crops and assess the need for amendments and fertilizers to help species grow. One of the instruments is the SPAD, a device that by means of the transmission difference of two beams of light, determines the foliar nitrogen content. Another is the spectrophotometer, which estimates the color of the sample using the CIELAB color system where the chlorophyll content is correlated with the intensity of the green color. Therefore, this research evaluated the use of SPAD instruments and spectrophotometers for the determination of foliar nitrogen using non-destructive measurement methods. In addition, it determined the correlation between the growth of a forest species or an agricultural crop and climatic variables.

Keywords: growth, plant physiology, agroforestry system.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

*A. Fallas Cosío, “Caracterización de crecimiento y fisiología de un sistema agroforestal con *Gmelina arborea* (Roxb), *Swietenia macrophylla* (King), *Dipteryx panamensis* (Pittier) con *Musa textilis* (Née) en Guápiles, Limón, Costa Rica”, Tesis de Licenciatura, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2021.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por M. Sc. Juan Carlos Valverde Otárola, M.Sc. Dorian Carvajal Vanegas y Ph. D. Dagoberto Arias Aguilar como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Juan Carlos Valverde Otárola M.Sc

Director de tesis

Dorian Carvajal Vanegas M.Sc

Profesor Lector

Dagoberto Arias Aguilar Ph.D

Profesor Lector

Dorian Carvajal Vanegas

Coordinador Trabajos Finales de
Graduación



Adriana Fallas Cosío

Estudiante

DEDICATORIA

A mis padres Silvia y Luis Carlos y hermana Paula, por enseñarme a luchar por mis sueños y brindarme su amor incondicional.

A Tita Tere, Tita Lele, Tito Carlos y Tito Hugo, por su amor incondicional y enseñarme la belleza de las plantas.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y familia, por todo el apoyo durante este proceso y su amor para lograr obtener este título.

A mi hermana Paula por ser mi voz de la razón en momentos cruciales durante este estudio.

A mi tutor Juan Carlos Valverde Otárola por su apoyo en el estudio de los sistemas agroforestales, por enseñarme nuevos caminos en el ámbito de estudios forestales y por confiar en mis habilidades para lograr dicha investigación.

Al profesor Dorian Carvajal Vanegas por toda la ayuda brindada durante mi investigación y por ayudarme a ver la parte divertida de la vida universitaria.

Al profesor Dagoberto Arias Aguilar por todo su apoyo durante la investigación y por confiar en mis capacidades.

A los investigadores del Laboratorio PRIAS por todo el apoyo durante la investigación y giras de campo para lograr los objetivos de la beca. Al fondo de becas CeNAT-CONARE por el financiamiento para realizar los estudios y acceso al uso de equipo especializado.

Al Instituto Nacional de Transferencia en Tecnología Agropecuaria por permitirme realizar la investigación en el sistema agroforestal y a su personal por el gran apoyo en las tareas de campo y recolección de datos.

Al proyecto “Impulso tecnológico a los sistemas agroforestales para la producción sostenible de fibras naturales para exportación: cultivo de abacá (*Musa textilis* Née) como alternativa versátil para productores rurales en Costa Rica” financiado por la VIE, por el apoyo económico brindado.

A los chiquillos por los momentos tan especiales que vivimos en la universidad. Y especialmente a mis amigas Maureen, Ana Lucía y Monserrath por ser un gran apoyo durante los momentos buenos y malos que vivimos juntas.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN GENERAL	i
GENERAL ABSTRACT	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 2	3
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
CAPÍTULO 3	4
Ecuaciones alométricas para la estimación del nitrógeno foliar a partir de métodos no destructivos en tres especies arbóreas tropicales	4
RESUMEN	4
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Descripción del área de estudio.....	7
Muestras foliares	8
Métodos no destructivos.....	9
Determinación de nitrógeno con método destructivo.....	10
ANÁLISIS DE DATOS	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
Correlación entre LNC, índice de color CIELAB y medición SPAD	14
Ecuaciones para la estimación de nitrógeno	16

CONCLUSIONES	17
REFERENCIAS	18
CAPÍTULO 4	22
Crecimiento diamétrico de <i>Gmelina arborea</i> y <i>Musa textilis</i> en un sistema agroforestal, Guápiles, Costa Rica	22
RESUMEN	22
ABSTRACT	22
INTRODUCCIÓN	23
MATERIAL Y MÉTODOS	25
Descripción del área de estudio	25
Medición de crecimiento	26
Variables meteorológicas	26
Análisis de datos	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
Incremento en diámetro de los árboles	27
Incremento en diámetro de abacá	28
Relación del crecimiento con variables meteorológicas	30
CONCLUSIONES	32
REFERENCIAS	33
CAPÍTULO 5	36
Conclusiones y recomendaciones	36
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES	37
REFERENCIAS	38

ÍNDICE DE CUADROS

Ecuaciones alométricas para la estimación del nitrógeno foliar a partir de métodos no destructivos en tres especies arbóreas tropicales

Cuadro 1. Valor promedio de valores de SPAD y porcentaje de nitrógeno foliar en hojas de las plantas de *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* y *Dipteryx panamensis*. 14

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre los valores SPAD, índice de color modelo CIELAB y valores LNC en hojas de árboles de *G. arborea*, *S. macrophylla* y *D. panamensis*. 15

Cuadro 3. Ecuaciones de estimación del LNC a partir de mediciones con SPAD y el índice de color CIELAB en hojas de las especies *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* y *Dipteryx panamensis*. 17

Crecimiento diamétrico de Gmelina arborea y Musa textilis en un sistema agroforestal, Guápiles, Costa Rica

Cuadro 1. Coeficientes de correlación entre el incremento de árboles de *Gmelina arborea* y variables meteorológicas en un sistema agroforestal en Guápiles, Costa Rica. 31

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre el incremento de plantas de *Musa textilis* y variables meteorológicas en un sistema agroforestal en Guápiles, Costa Rica. 32

ÍNDICE DE FIGURAS

Ecuaciones alométricas para la estimación del nitrógeno foliar a partir de métodos no destructivos en tres especies arbóreas tropicales

Figura 1. Ubicación geográfica del sistema agroforestal. Guápiles, Limón, Costa Rica. 8

Figura 2. Muestras de *Gmelina arborea* (A), *Dipteryx panamensis* (B) y *Swietenia macrophylla* (C)..... 9

Figura 3. Relación entre el color en sistema CIELAB con el contenido de nitrógeno foliar (LNC) en hojas de *D. panamensis* (A), *S. macrophylla* (B) y *G.arborea* (C). 12

Figura 4. Relación entre las mediciones de SPAD con el contenido de nitrógeno foliar (LNC) en hojas de *D. panamensis* (A), *S. macrophylla* (B) y *G. arborea* (C). 14

Crecimiento diamétrico de Gmelina arborea y Musa textilis en un sistema agroforestal, Guápiles, Costa Rica

Figura 1. Ubicación geográfica del sistema agroforestal. Guápiles, Limón, Costa Rica. ... 26

Figura 2. Condiciones de humedad en Guápiles durante el período de noviembre 2019-noviembre 2020. 30

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

La pérdida de más del 50% del suelo por malas prácticas agrícolas a nivel mundial [1,2], ha generado la creación de modelos sostenibles de producción [3] y conservación de los ecosistemas [4]. Estas prácticas se conocen como sistemas agroforestales (SAF), ya que combinan cultivos y árboles. Los SAF se consideran una herramienta para disminuir la vulnerabilidad de cultivos ante la variabilidad climática [5], la deforestación y el uso de agroquímicos [6].

Con la aplicación de estos sistemas agrícolas se pueden obtener diversos beneficios, donde se potencializa la producción, desarrollo de las plantas, secuestro de carbono y diversificación de fuentes de alimentación [7]. Tal es el caso del control de sombra dentro del SAF donde se puede aumentar hasta un 53% en la eficiencia neta de fotosíntesis [8]. Así mismo, un mejor control de arvenses y reciclaje de nutrientes, ya que la hojarasca aporta a los SAF nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio [9], reduciendo un 10 % el uso de fertilizantes inorgánicos [10]. No obstante, en un estudio realizado en un sistema agroforestal de cacao se evidenció que la fertilidad se da a una escala individual para los cultivos cercanos o debajo de los árboles y no se da una adecuada translocación de nutrientes para todo el sistema [11].

En este contexto, el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agrícola (INTA), en el año 2019 estableció un sistema agroforestal demostrativo con especies forestales, abacá y cultivos agrícolas anuales. Con la finalidad de generar datos que ayuden a los productores a implementar un sistema agroforestal con un mejor manejo, rendimiento y mayores entradas económicas, que además impulsara la producción de un cultivo no tradicional como es el abacá [12].

Los cultivos no tradicionales han impulsado el uso de materiales vegetales en el sector industrial, por lo cual es importante crear conocimientos sobre plantas que no son de índole

alimentaria, ya que en muchas ocasiones se pone en una balanza el uso del territorio únicamente para la producción alimenticia o de otros bienes. Una especie que ha generado beneficios en sistemas agroforestales es la *Jatropha* utilizada para biodiesel, donde al plantarla alrededor de cultivos ha ayudado a la restauración de sitios marginados o deteriorados y generando un sistema de diversos bienes [13].

Entre las investigaciones que se pueden efectuar en plantas establecidos en sistemas agroforestales está el estudio de la ecofisiología de los cultivos y árboles. Esto resulta fundamental para entender cómo son las interrelaciones entre los factores abióticos, además, cómo la planta puede llegar a afectar la producción y el rendimiento del sistema [14,15]. Tal es el caso del SPAD, instrumento no destructivo utilizado para determinar de manera rápida la cantidad de nitrógeno foliar. Dicho nutriente incide directamente en la generación de raíces, tallos, ramas y hojas [2], además de ser parte de la estructura de la clorofila pigmento de gran importancia para la fotosíntesis. No obstante, las mediciones y su comportamiento van a depender de la especie en estudio, así como de la edad de la planta y punto de la hoja donde se realiza la medición [16]. Por lo cual es importante la recolección y análisis de estos datos para aumentar la producción de manera sustentable, ya que evidencia cuáles prácticas de manejo son las mejores. Además, son factores de análisis para escoger genotipos que se adaptan mejor a las condiciones ambientales [15].

No obstante, hay pocas investigaciones sobre el comportamiento fisiológico de especies por lo cual, el objetivo de esta investigación fue analizar los aspectos fisiológicos, de crecimiento y nutricionales de las especies forestales *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* y *Dipteryx panamensis* en un sistema agroforestal con *Musa textilis*. Para generar una línea base sobre los aspectos fisiológicos y el crecimiento de estas especies en un sistema agroforestal.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los aspectos fisiológicos, de crecimiento y nutricionales de las especies forestales *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* y *Dipteryx panamensis* en un sistema agroforestal con *Musa textilis*.

Objetivos específicos

- a. Caracterizar los aspectos fisiológicos y nutricionales de tres especies forestales en un sistema agroforestal.
- b. Evaluar el crecimiento diamétrico de *Gmelina arborea* y *Musa textilis* en un sistema agroforestal.

CAPÍTULO 3

Ecuaciones alométricas para la estimación del nitrógeno foliar a partir de métodos no destructivos en tres especies arbóreas tropicales

RESUMEN

El nitrógeno es un nutriente fundamental para el crecimiento de las raíces y hojas de los árboles, por lo cual el uso de tecnologías como SPAD y colorímetro agilizan el proceso de estimación de nitrógeno foliar (LNC). Por lo cual el objetivo del estudio fue desarrollar ecuaciones para estimación de nitrógeno foliar a partir de métodos no destructivos en las especies *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* y *Dipteryx panamensis*, establecidas en un sistema agroforestal. Se evaluaron muestras foliares de cinco individuos de cada especie, donde se realizaron mediciones de SPAD, colorímetro mediante el modelo CIELAB y estimación de nitrógeno foliar en laboratorio. Se obtuvo una correlación de 0,70 entre las mediciones de SPAD y porcentaje de nitrógeno foliar, evidenciando que el instrumento genera datos confiables. En el caso de CIELAB tuvo un comportamiento diferente por especie, donde *S. macrophylla* genera mayor correlación con el índice a*, mientras que *D. panamensis* evidencia una moderada relación el índice b*, por último *G. arborea* no presenta ninguna correlación con el índice de color. Dentro de los modelos lineales obtenidos resaltan *Dipteryx panamensis* $N=1,345-0,027*a$, mientras que para *Swietenia macrophylla* $N= 1,111-0,074*a$.

Palabras clave: SPAD, CIELAB, color de hoja

ABSTRACT

Nitrogen is an essential nutrient for the development of tree roots and leaves, therefore, using technologies like Soil Plant Analysis Development (SPAD) and chlorophyll meter expedite the estimation of leaf nitrogen concentration (LNC). The objective of this study consisted on developing equations to estimate LNC based on non-destructive testing in the species *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, and *Dipteryx panamensis* established in an agroforestry system. Foliar samples of 5 individuals of each species were evaluated, they were analyzed with SPAD measurements, chlorophyll meter through CIELAB model, and LNC estimations in a laboratory. A correlation of 0,70 between SPAD measurements and

LNC percentage was found, which evidences that the instrument generates accurate data. However, CIELAB showed a different behavior by specie, where *S. macrophylla* generates a greater correlation with the a* index, while *D. panamensis* evidences a moderate correlation with the b* index, and finally, *G. arborea* did not show any correlation with the color index. The following linear models were obtained: *Dipteryx panamensis* $N=1,345-0,027*a$ and *Swietenia macrophylla* $N= 1,111-0,074*a$.

Key words: SPAD, CIELAB, leaf color

INTRODUCCIÓN

La cantidad de nutrientes en el suelo es uno de los factores que influyen el crecimiento de los árboles, debido que estimulan el desarrollo de raíces, optimizan el uso del agua y aseguran un crecimiento inicial óptimo [1]. Uno de los nutrientes de mayor relevancia para el crecimiento foliar es el nitrógeno, es un nutriente que incide directamente en la generación de raíces, tallos, ramas y hojas [2]. El nitrógeno es considerado el elemento que más limita el crecimiento de los árboles en zonas tropicales [3,4]. Deficiencias de nitrógeno generan problemas en el tamaño de las hojas o pérdida de estas, pues el nitrógeno es necesario para la síntesis de proteínas y proceso de división celular [5].

Por lo cual es de suma importancia conocer la cantidad de nitrógeno en el sistema para mejorar la gestión y rendimientos de los individuos con el fin de obtener mejores servicios ecosistémicos [6]. Además de mantener un control en las dosis de fertilizante a aplicar, reduciendo costos extras en fertilizantes y evitando la aplicación excesiva de productos que son fuentes de contaminación del suelo o emisiones de gases [7,8].

Entre los métodos destructivos para cuantificar el nitrógeno foliar están las pruebas químicas de laboratorio como el procedimiento Kjeldahl [9], pero estos son de alto valor por el uso de equipo especializado y llevan más tiempo para obtener los datos [9,7]. Por lo cual se han creado instrumentos portables y sencillos que se pueden llevar al campo para obtener resultados en menor tiempo y así conocer el estado de las plantas.

El instrumento más utilizado para la detección del contenido de nitrógeno foliar es el SPAD-502- Soil Plant Analyses Development Minolta [10,11]. Método no destructivo que estima el contenido de clorofila presente en una hoja, mediante la exposición de la muestra a dos fuentes de luz: roja a 640 nm y luz infrarroja a 940 nm con el fin de determinar la diferencia de transmisión de las ondas de luz [12]. Se establece una relación entre el nitrógeno y clorofila, pues dicho elemento participa en la constitución del pigmento [13]. No obstante, sus mediciones pueden ser afectadas por diversos factores como el tipo de planta, edad, posición y grosor de la hoja y el punto donde se realiza la medición [9].

Otro instrumento empleado es el colorímetro, encargado de la obtención del color de las hojas, el cual es un indicador de la salud y nutrición de las plantas [14]. Esta variable es determinada por pigmentos como clorofila y carotenoides, que a su vez mantiene una relación con el contenido de nitrógeno por la correlación directa entre la intensidad de verde y el contenido de clorofila [15, 13]. Para su correcta determinación el instrumento evalúa el color de acuerdo con el sistema de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) denominado CIELAB [16], el cual es un sistema rectangular de coordenadas que abarca tres dimensiones (L, a*, b*). Este sistema correlaciona valores numéricos de color con la percepción visual humana para evaluar atributos e inconsistencias de objetos.

Existen varios estudios como Hu et al. [19], quienes determinaron el contenido de clorofila mediante un modelo con las variables del sistema CIELAB y datos del pigmento obtenidos tanto de muestras de laboratorio como del uso del SPAD-502. Obteniendo una correlación entre las variables L^*a^*b con el contenido de clorofila de hojas de cebada. Así como Djumeaeva et al. [7] consideran que el SPAD es un instrumento óptimo para el manejo de los sistemas agroforestales, pues determina de forma correcta el contenido de nitrógeno foliar. El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar ecuaciones para estimación de nitrógeno foliar a partir de métodos no destructivos en las especies *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* y *Dipteryx panamensis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el ensayo agroforestal y sitio demostrativo de la Estación Los Diamantes propiedad del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Ubicada en Guápiles, Limón, Costa Rica (N 10°15'30.98" 83°46'13.98" a una altitud de 1525 msnm, con una temperatura media anual de 25 °C, precipitación media anual de 4000 a 5000 mm [20] y según la clasificación de Holdridge [21], la zona de vida presente es Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-P) transición a basal. El lugar presentó una topografía plana, con un suelo de orden inceptisol [22], con pH de 5,5, un contenido nutricional de calcio de 3,279 mol/L, magnesio 0,505 mol/L, potasio 0,118 mol/L, fósforo 6,928 mg/L, zinc 0,4 mg/L, cobre 3,464 mg/L, hierro 92,433 mg/L, manganeso 7,937 mg/L. Así como un contenido de nitrógeno de 0,40% y carbono de 3,3%. La saturación de acidez alcanzo un porcentaje de 6%.

El experimento evaluó cinco individuos de las especies forestales *Gmelina arborea* (melina), *Swietenia macrophylla* (caoba) y *Dipteryx panamensis* (almendro), en un sistema agroforestal en conjunto con la especie agrícola *Musa textilis*. El ensayo de 2600 m² fue constituido por 4 callejones de maderables en un diseño de plantación de 3 x 3 m en tres bolillo y establecido en el mes de julio del 2019. Los individuos evaluados no recibieron ningún tipo de fertilización y se les efectuó podas de formación en la copa.

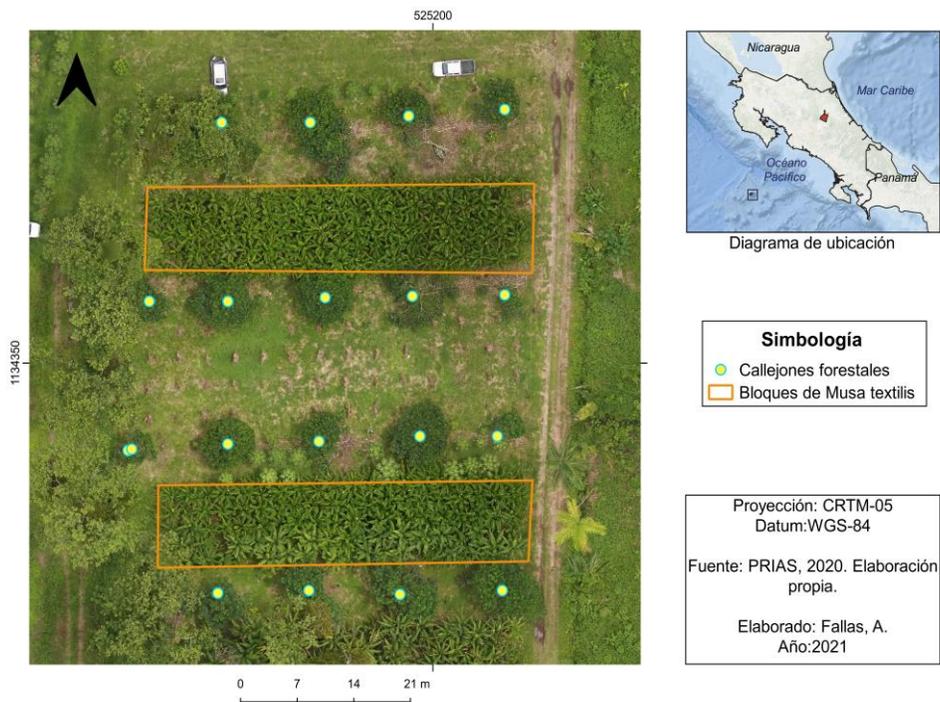


Figura. 1 Ubicación geográfica del sistema agroforestal. Guápiles, Limón, Costa Rica.

Muestras foliares

De los individuos en estudio se recolectaron 6 hojas al azar, en diferentes estados de madurez, además de no presentar afectaciones por patógenos (figura 2). Exceptuando a la especie *Swietenia macrophylla*, la cual todos sus individuos fueron afectados por *Hypsipyla grandella* y presentaba un hongo en algunas de las hojas (figura 2.C). En las muestras seleccionadas se efectuaron mediciones en campo con el colorímetro y SPAD.



Figura 2. Muestras de *Gmelina arborea* (A), *Dipteryx panamensis* (B) y *Swietenia macrophylla* (C).

Métodos no destructivos

Medición SPAD

Para la estimación del contenido potencial de nitrógeno se utilizó el SPAD-502 (Konica Minolta), el cual presenta un área de medición de 5 mm². Se efectuaron cinco mediciones en diferentes puntos del haz de una misma hoja para estandarizar sus valores.

Medición de color

La medición del color se realizó mediante el uso del espectrofotómetro Nix Pro-Color Sensor de cromatografía CIE estandarizado. Dicho instrumento cuenta con un puerto de medición de

10 mm y rango de medición de los 400 a 700 nm. Se realizó una medición del haz por hoja para determinar los valores del CIELAB. Este espacio de color evalúa la iluminación, chroma y matiz, representadas por L^* (iluminación), a^* (tonos de rojos a verdes) y b^* (tonos de amarillo a azul). La L^* se encuentra entre los valores de 0 a 100, siendo el primero negro y 100 blanco; a^* cuando muestra valores positivos tienden a rojo y valores negativos a verde y b^* al tener valores positivos tienden a amarillo y negativos a azul.

Determinación de nitrógeno con método destructivo

Posteriormente a las mediciones de campo, las hojas recolectadas tuvieron un preprocesamiento para su análisis en laboratorio. El cual consistió en un secado en horno a 60°C durante 4 días, seguidamente fueron trituradas en un molino para obtener una muestra de partículas pequeñas para los análisis de laboratorio. La determinación del contenido foliar de nitrógeno (LNC) se realizó en el Laboratorio de Biomateriales de las Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica mediante el equipo analizador elemental modelo Vario Micro Cube.

ANÁLISIS DE DATOS

Se verificó la relación entre mediciones SPAD y modelo CIELAB con el contenido de nitrógeno foliar mediante una prueba de correlación lineal. Seguidamente se efectuaron regresiones lineales con las variables que presentaron correlaciones significativas (mayores a 0,500) utilizando el modelo lineal $Y = a + bx$, donde la variable dependiente fue el contenido de nitrógeno foliar y las variables independientes eran las mediciones SPAD y el sistema de color CIELAB, además de determinar el coeficiente de determinación y error del modelo. Los diferentes análisis estadísticos se llevaron a cabo en los programas Origin 2016 y Matlab.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las relaciones del contenido de nitrógeno foliar (LNC) y el CIELAB de las tres especies forestales se presentan en la figura 3, donde se evidencia un comportamiento similar entre ellas, exceptuando el factor a^* para la especie *G. arborea*.

La luminosidad (L^*) presentó valores entre 40 y 23, por lo cual se considera una luminosidad de media a baja, siendo colores que reflejan la luz y se acercan al tono blanco. En cuanto a los valores de a^* todos fueron negativos y variaron entre -0,9 a -17,8 siendo una tonalidad verduzca para las hojas muestreadas. Por último, la variable b^* obtuvo valores con tonalidad amarillenta, debido a que se encontraban entre valores de 3 a 33.

De acuerdo con la figura 3 el índice a^* tiende a un comportamiento decreciente, es decir mientras más positivo el valor, el contenido de LNC disminuye, así como la clorofila, debido a que este pigmento está asociado a* [23]. A su vez se correlaciona con la edad de la hoja, pues al incrementar la madurez se da gradualmente la pérdida de color verde y traslocación del nitrógeno a hojas más jóvenes [3]. El índice b^* evidencia el mismo comportamiento decreciente, donde al acercarse a valores positivos (amarillos) evidencia una pérdida de nitrógeno foliar. Cabe de resaltar que entre los síntomas visuales de deficiencias de nitrógeno está la clorosis, la cual es el amarillamiento de las hojas por la falta de clorofila disminuyendo la capacidad de fotosíntesis de la planta [24,3].

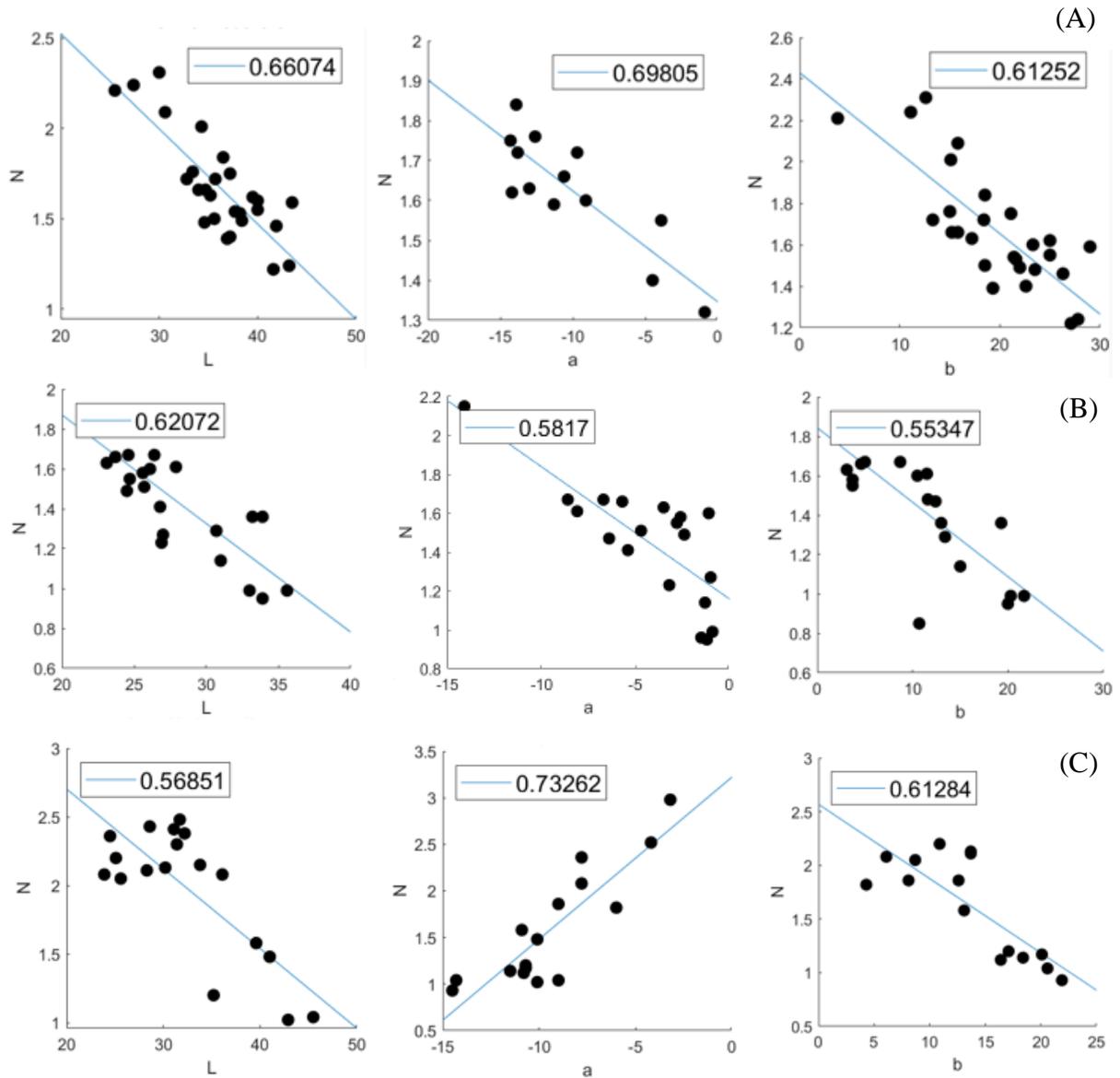


Figura 3. Relación entre el color en sistema CIELAB con el contenido de nitrógeno foliar (LNC) en hojas de *D. panamenis* (A), *S. macrophylla* (B) y *G. arborea* (C).

Las mediciones de SPAD variaron entre los 25 y 69, mostrando una tendencia creciente para las tres especies, así como la evidencia de una relación con el contenido de nitrógeno foliar. Dado que los valores SPAD aumentaron en correspondencia con los valores de LNC, lo cual se evidencia en los coeficientes de determinación estimados que fueron superiores a 0,50 (tabla 1, figura 4), queda establecido que las mediciones con el instrumento pueden determinar los

valores de N en las plantas, tomando en consideración que estas relaciones difieren entre especies, cultivares y etapas de crecimiento [7].

La especie que presentó los valores más altos de unidades SPAD fue la *S. macrophylla*, pero obtuvo el porcentaje de nitrógeno foliar más bajo (cuadro 1). Esto se debe a que el instrumento SPAD-502 al determinar valores mayores a 50 no asegura que los datos sean precisos [25], por lo cual arroja incongruencias en los valores reales de nitrógeno foliar. Como es el caso de un individuo que presentó 46,72 unidades SPAD y 0,95% de N. Este comportamiento se debe a que las hojas presentaron un color verde oscuro y los valores de SPAD aumentan cuando el color de la planta tiene tonalidades oscuras [26]. Además, se establece que algunas muestras presentan deficiencias de nitrógeno, ya que concentraciones menores a 1% generan problemas de clorosis en hojas jóvenes [3]. Una de las razones por la cual estos individuos presentan problemas de nutrición probablemente esté asociado al ataque *Hypsipyla grandella*, el cual ocasiona deformación de tallos o mortalidad alta en ensayos recién establecidos [27].

En cuanto a *G. arborea* presentó el valor más alto de nitrógeno con 2,98% y un promedio de unidades SPAD de 39,937. El estudio efectuado por Barrantes et al. [28] obtuvo 3,01% de nitrógeno foliar y SPAD de 21,51 para plántulas en un vivero, mientras que [29] obtuvieron un promedio de valores SPAD de 34,66. Las diferencias entre estudios se deben a diversos factores como procedencia de las plantas, edad o período vegetativo, fertilización o estrés hídrico, así como la ubicación de la hoja muestreada y el sitio donde se toma la medición [30]. El contenido de nitrógeno foliar se encuentra en un rango de 0,93 a 2,98 % con una media de 2,05%, por lo tanto, algunos individuos presentan deficiencias debido a que entre 1,39 y 2 % de nitrógeno sus valores son marginales, mientras que de 2,01 a 3,92% se considera adecuado la cantidad de este nutriente.

La especie *D. panamensis* obtuvo valores de SPAD entre 26,1 y 49,16, así como un porcentaje de nitrógeno entre 1,22 y 2,37 %. Existe una alta relación entre los valores obtenidos con el medidor de clorofila y la concentración de nitrógeno foliar [31], se evidencia en individuos con

altos valores de SPAD, así como de nitrógeno, entre estos destacan 49,16 SPAD y 2,24 % de N, así como para valores más bajos de 1,22% de LNC con 27,1 valores SPAD.

Cuadro 1. Valor promedio de valores de SPAD y porcentaje de nitrógeno foliar en hojas de las plantas de *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* y *Dipteryx panamensis*.

Especie	SPAD (unidades SPAD)	N (%)	R ²
Melina	39,937	1,845	0,529
Caoba	51,923	1,472	0,587
Almendro	41,430	1,699	0,511

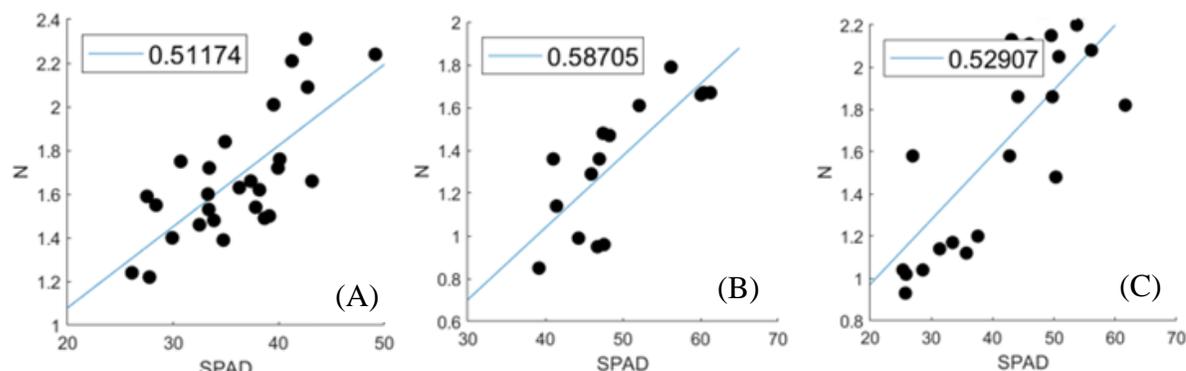


Figura 4. Relación entre las mediciones de SPAD con el contenido de nitrógeno foliar (LNC) en hojas de *D. panamensis* (A), *S. macrophylla* (B) y *G. arborea* (C).

Correlación entre LNC, índice de color CIELAB y medición SPAD

Las correlaciones entre LNC, índice CIELAB y SPAD (cuadro 2) mostraron diferentes comportamientos en las especies en estudio. El LNC y los valores de SPAD mostraron correlaciones en las especies *S. macrophylla* y *D. panamensis*, siendo una correlación fuerte y positiva con valores superiores a 0,70, mientras que *G. arborea* evidenció una correlación muy baja de SPAD con nitrógeno foliar. Esto demuestra que el uso del SPAD-502 puede determinar el valor aproximado de nitrógeno foliar de forma fácil y rápida para las especies caoba y almendro. En el caso de *G. arborea* no se encontró una correlación fuerte, donde pudo ser influenciado el grado de madurez de la hoja y cantidad y ubicación de la clorofila, al ser una especie de muy rápido crecimiento.

En cuanto al modelo CIELAB las especies mostraron comportamientos diferentes para las diferentes variables. El L* evidenció una fuerte correlación con el LNC en *S. macrophylla* y *D. panamensis* con un valor superior a -0,79, la variable a* tuvo una correlación alta y negativa únicamente en *S. macrophylla*, siendo un índice de poca importancia para las otras dos especies. Y por último en b* se considera una variable con poca o nula correlación para *S. macrophylla*, debido a que su valor es muy bajo, en comparación al almendro donde se ratifica una fuerte correlación con un valor de -0,808 con el LNC. Para el caso de *G. arborea* tampoco se presentaron correlaciones con las variables del sistema de color. Las diferencias entre especies son entendibles y pudieron darse debido a la intensidad de luz natural cuando se realizaban las mediciones, así como el grosor de la lámina que puede interferir en el haz de luz [32].

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre los valores SPAD, índice de color modelo CIELAB y valores LNC en hojas de árboles de *G. arborea*, *S. macrophylla* y *D. panamensis*.

Melina					
	SPAD	L*	a*	b*	LNC
SPAD	1				
L*	-0,709 *	1			
a*	0,265 ns	0,096 ns	1		
b*	-0,744 *	0,970 *	0,033 ns	1	
LNC	0,345 ns	-0,215 ns	0,149 ns	-0,182 ns	1
Caoba					
	SPAD	L*	a*	b*	LNC
SPAD	1				
L*	-0,906 *	1			
a*	0,063 ns	-0,039 ns	1		
b*	-0,803 *	0,948 *	-0,512 *	1	
LNC	0,742 *	-0,797*	-0,797 *	0,033 ns	1
Almendro					
	SPAD	L*	a*	b*	LNC
SPAD	1				
L*	-0,801 *	1			
a*	-0,082 ns	-0,137 ns	1		
b*	-0,770 *	0,953 *	-0,159 ns	1	
LNC	0,731 *	-0,830 *	-0,088 ns	-0,808 *	1

*significancia a 0,05, ns no hay significancia estadística.

Ecuaciones para la estimación de nitrógeno

En el cuadro 3 se presentan las ecuaciones lineales de predicción de nitrógeno foliar para las tres especies arbóreas tropicales a partir del índice de color CIELAB y mediciones SPAD. Para *D. panamensis* se determinaron dos ecuaciones para cada una de las variables del CIELAB, donde sus coeficientes de determinación fueron mayores a 0,600, además de presentar errores muy bajos. En cuanto al modelo con los valores SPAD se obtuvo un coeficiente de 0,512 y error de 0,199. En la especie *S. macrophylla* la ecuación con SPAD presentó un coeficiente de 0,578 y un error de 0,198, mostrando un comportamiento similar con el *D. panamensis*. Además, los modelos con CIELAB mostraron R^2 entre 0,615 y 0,673, siendo la variable a^* con el mayor valor, además de presentar errores menores a 0,203. Por último *G. arborea* al no presentar correlación con ninguna de las variables en estudio no se realizaron ecuaciones.

Las ecuaciones creadas con los valores de SPAD para todas las especies muestran un ajuste moderado, pues explican únicamente el 50% de la variabilidad del nitrógeno foliar a partir de mediciones con el SPAD. Esto se debe a que el tamaño de la muestra no fue representativo por especie, así como el tipo de hojas analizadas que al ser de diferentes edades generaron respuestas heterogéneas y en estos casos es conveniente mantener muestras más homogéneas pues el contenido de clorofila y las medidas con el instrumento pueden verse afectadas por la edad [33]. Además, que la variable en estudio (LNC) puede verse afectado por agentes externos como temperatura, irradiación solar, estrés hídrico, presencia del nutriente en el suelo y presencia de plagas forestales [34].

Cuadro 3. Ecuaciones de estimación del LNC a partir de mediciones con SPAD y el índice de color CIELAB en hojas de las especies *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* y *Dipteryx panamensis*.

Especie	Ecuación	R²	Error	p-value
Caoba	$N = -0,306 + 0,034 * SPAD$	0,587	0,198	0,0005
	$N = 2,945 - 0,054 * L$	0,615	0,165	0,0001
	$N = 1,111 - 0,074 * a$	0,673	0,175	0,0018
	$N = 2,402 - 0,044 * L - 0,051 * a$	0,301	0,278	0,0007
Almendra	$N = 0,337 + 0,037 * SPAD$	0,512	0,199	1,65e-05
	$N = 3,577 - 0,052 * L$	0,661	0,166	1,57e-07
	$N = 2,430 - 0,038 * b$	0,613	0,177	8,53e-07
	$N = 3,628 - 0,045 * L - 0,017 * b$	0,697	0,167	5,65e-07

El desarrollo de las ecuaciones va a depender de las especies en estudio, Djumaeva et al. [7] reportaron que para especies de áreas áridas los mejores modelos para estimar el nitrógeno son a través de ecuaciones polinomiales de segundo grado. Mientras que Chang y Robison [5] determinaron ecuaciones lineales para especies maderables, evidenciando que el uso del equipo SPAD-502 tiene gran utilidad para determinar si la planta necesita mayores dosis de N para un adecuada nutrición y crecimiento.

CONCLUSIONES

El uso del SPAD y colorímetro como métodos no destructivos pueden ser utilizados para la determinación de nitrógeno foliar para especies tropicales. Donde se obtuvo una correlación moderada de SPAD y LNC de 0,70 para las especies *D. panamensis* y *S. macrophylla*, evidenciando que es un instrumento con potencial para evaluar de forma rápida la cantidad de nitrógeno de árboles en campo. El índice de color CIELAB, en especial los índices a* y b* muestran comportamientos distintivos por especies. Para el caso de *S. macrophylla* genera mayor correlación con el índice a*, mientras que *D. panamensis* evidencia una moderada relación el índice b*, por último *G. arborea* no presenta ninguna correlación con el índice de color ni SPAD. Con respecto a las ecuaciones, para *D. panamensis* resalta la ecuación $N = 1,345 - 0,027 * a$, mientras que para *S. macrophylla* $N = 1,111 - 0,074 * a$.

REFERENCIAS

- [1] M.A. León-Sánchez, J.L. Reyes-Pozo, G. Herrero-Echevarría y V.E. Pérez-León, “Efecto de la fertilización sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Punus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba”, *Madera y Bosques*, vol.22, no.3, pp.87-101, 2016.
- [2] B.L. Dunn, H. Singh y C. Goad, “Relationship between chlorophyll meter readings and nitrogen in poinsettia leaves”, *Journal of Plant Nutrition*, vol.41, no. 12, May. pp.1566-1576, 2018.
- [3] A. Alvarado y J. Raigosa, Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales, San José: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, 2012.
- [4] S.Chang y D. Robison, “Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the Spad-502 chlorophyll meter”, *Forest Ecology and Management*, vol.181, pp.331-338, 2003.
- [5] E. Malavolta, Manual de nutrição mineral de plantas, Agronômica Ceres, 2006.
- [6] R.Cerda, J. Avelino, C.A. Harvey, C. Gary, P. Tixier y C. Allinne, “Coffee agroforestry systems capable of reducing disease-induced yield and economic losses while providing multiple ecosystem services”, *Crop protection*, vol. 134, 2020.
- [7] D. Djumaeva, J.P.A. Lamers, C. Martius y P.L.G. Vlek, “Chlorophyll meters for monitoring foliar nitrogen in three species from arid Central Asia”, *Journal of Arid Environments*, vol.85, pp.41-45, 2012.
- [8] F.Fang Lin, L. Feng Qiu, J. Song Deng, Y. Yuan Shi, L. Su Chen y K. Wang, “Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 715, pp.560-565, 2010.
- [9] S. Yuan, T.L. Goron, L. Huang, L. Wu y F. Wang, “Rice leaf lateral asymmetry in the relationship between SPAD and area-based nitrogen concentration”, *Symmetry*, vol.9, no. 83, 2017.
- [10] X.Y Fu, W.P. Mo, J.Y. Zhang, L.Y. Z, H.C. Wang y X. M. Huang, “Shoot growth pattern and quantifying flush maturity with SPAD value in litchi (*Litchi chinensis* Sonn)”, *Scientia Horticulturae*, vol.174, Jun, pp.29-35, 2014.

- [11] P. Errecart, M. Agnusdei, F. Lattanzi y m. Marino, “Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen status”, *Field Crops Research*, vol.129, pp.46-58, 2012.
- [12] S. Demotes, R. Boumaza, S. Meyer y Z. Cerovic, “Indicators of nitrogen status for ornamental woody plants based on optical measurements of leaf epidermal polyphenol and chlorophyll contents”, *Scientia Horticulturae*, vol.115, pp.377-385, 2008.
- [13] A.R. da Cunha, I. Katz, A.de Pádua y R. A. Martínez, “Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido”, *IDESIA*, vol.33, no.2, Mar-May, pp.97-105, 2015.
- [14] M. Riccardi, G. Mele, C. Pulvento, A. Lavini, R. D'andria y E. Jacobsen, “Non. Destructive evaluation of chlorophyll content in quinoa and amaranth leaves by simple and multiple regression analysis of RGB image components”, *Photosynthesis Research*, Jun., pp.263-272, 2014.
- [15] M. Tao, X. Ma, X. Huang, C. Lui, R. Deng, K. Liang y L. Qi, “smartphone-based detection of leaf color levels in rice plants”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 173, 2020.
- [16] S. Meir, S. Philosoph, P. Gloter y N. Aharoni, “Nondestructive assessment of chlorophyll content in watercress leaves by a tristimulus reflectance colorimeter”, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 2, pp.117-124, 1992.
- [17] P. Talens, “Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB”, Tesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2017.
- [18] R.S. Berns, “Extending CIELAB: Vividness, depth and clarity”, *Color Research & Application*, vol. 39, n°4, 2013.
- [19] H. Hu, H. Lui, H. Zhang, J. Zhu, X. Yao, X. Zhang y K. Zheng, “Assessment of chlorophyll content based on image color analysis, comparison with SPAD-502”, 2nd Internacional Conference on Information Engineering and computer Science, 2010, Wuhan.
- [20] A. Tapia, Capa vectorial IMN_precipitación, 2011.
- [21] L. Holdridge, Life zone ecology. San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.

- [22] R. Mata, A. Rosales, A. Vásquez y D.A. Sandoval, *Capa vectorial Suelos_Subordenes_CostaRica*, 2013.
- [23] A. Conesa, F.C. Manera, J.M. Brotons, J.C. Fernández, I. Simón, S. Simón, M. Alfosea, J.J. Martínez, J.M. Valverde y F. García, “Changes in the content of chlorophylls and carotenoids in the rind of Fino 49 lemons during maturation and their relationship with parameters from the CIELAB color space”, *Scientia Horticulture*, vol.243, pp.252-260, 2019.
- [24] J.C. Nieto, O.D. Catzim, R.A. Torres y J.J. Díaz, “Detección de clorosis en las hojas de limón con análisis de color”, *Revista de Ingeniería Innovativa*, vol.1, no.3, pp.10-18, 2017.
- [25] Konica Minolta, *Instruction Manual Chlorophyll Meter SPAD-502*, 1989.
- [26] L. Limantara, M. Dettling, R. Indrawati, Indriatmoko y T.H. Panintingjati. “Analysis on the chlorophyll content of commercial green leafy vegetables”, *Procedia Chemistry*, vol.14, pp. 225-231, 2015.
- [27] L. Hilje, “En busca de un enfoque preventivo para el manejo del barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella*), *Revista de Ciencias Ambientales*, vol.54, no.2, pp.211-229, 2020.
- [28] K. Barrantes, C. Ávila, R. Murillo, L. Solís, R. Porras y P. Herrera, “Relación de la clorofila y el nitrógeno foliar *Gmelina arborea* Roxb. en vivero y en campo”, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol.9, no.46, pp.209-239, 2018.
- [29] J. Calvo, D. Arias, C. Jiménez y J.C. Montero, “Efecto de cinco sustratos en el contenido foliar de nutrientes y crecimiento inicial de tres especies forestales empleadas en Mesoamérica”, *Revista forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 5, no. 14, pp.1-15, 2012.
- [30] F. Fang, L. Feng, J. Song, Y. Yuan, L. Chen y K. Wang, “Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol.71, pp.60-65, 2010.
- [31] L.A. Calderón, A.M. Berna y M.M. Pérez, “Ensayo preliminar sobre la utilización de un medidor portátil de clorofila para estimar el nitrógeno foliar en orégano (*Origanum vulgare* L.)”, *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, vol.7, no.2, pp.150-165, 2011.

[32] Y. Wang, D. Wang, P. Shi y K. Omasa, “Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light”, *Plant Methods*, vol.10, no.36, pp.2-11, 2014.

[33] F.Silla, A. González-Gil, M.E. González-Molina, S. Mediavilla y A. Escudero, “Estiamtion of chlorophyll in Quercus leaves using portable chlorophyll meter: effects of species and leaf age”, *Annals of Forest Science*, vol.67, no.108, 2010.

[34] E. Pimienta, C. Robles y C. Martínez, “Respuesta ecofisiológica de árboles jóvenes nativos y exóticos a sequía y lluvia”, *Revista fitotecnia mexicana*, vol.35, no.5, 2012.

CAPÍTULO 4

Crecimiento diamétrico de *Gmelina arborea* y *Musa textilis* en un sistema agroforestal, Guápiles, Costa Rica

RESUMEN

El crecimiento de los árboles dentro de un sistema agroforestal es una variable de gran relevancia para el manejo silvicultural, donde se evidencia el vigor y el producto que se va a obtener. Este proceso se ve afectado por características edáficas, condiciones climáticas y cantidad de nutrientes en el sitio, donde las deficiencias pueden originar una reducción en la supervivencia y crecimiento. En este estudio se determinó el incremento diamétrico de *Gmelina arborea* y *Musa textilis* en un sistema agroforestal; se midió el diámetro de 17 árboles y 105 plantas de abacá de los clones INTA tng 06 e INTA tng 03. Se evidenció un crecimiento óptimo para el componente forestal de *Gmelina arborea* con incrementos promedios de 3,49 mm mensuales. Para el componente agrícola se obtuvo un comportamiento creciente en el primer periodo de medición con incrementos de 1,68 mm en el clon INTA tng 06 y 1,52 mm en el clon INTA tng 03. Para un período posterior, se observó un decrecimiento por parte de los dos clones de -0,69 mm para el tng 06 y el clon tng 03 evidenció un -0,1 mm. En cuanto a la relación del crecimiento y variables meteorológicas, se demostró que existe una afectación en el desarrollo de *Gmelina arborea*, donde la temperatura máxima tiene un efecto negativo para los árboles. Mientras que la precipitación beneficia positivamente al desarrollo. Para el caso de *Musa textilis* no se encontró una relación significativa con las variables meteorológicas.

Palabras clave: incremento diamétrico, variables meteorológicas, clones

ABSTRACT

Plant growth within an agroforestry system is a relevant variable for silvicultural management because it evidences plant vigor and the products that will be obtained. This process is affected by edaphic characteristics, climate conditions, and the amount of nutrients in the site, where deficiencies originate diminished survival and growth. For that reason, in this study, the diametric increase of *Gmelina arborea* and *Musa textilis* in an agroforestry system was established, where the diameter of 17 trees and 105 *Musa textilis* plants (clones INTA tng 06

and INTA tng) were measured. An ideal growth for the forestry component of *Gmelina arborea* was demonstrated, it showed a monthly average increment of 3,49 mm. On the other hand, the agricultural component presented an increment in the first measuring period where the organisms of clone INTA tng 06 increased 1,68 mm and the INTA tng 03 grew 1,52 mm. On a later period, a decrease of -0,69 mm was observed in plants of clone tng 06, and clone tng 03 decreased -0,1 mm. Regarding the association between growth and meteorological variables, the existence of an impact on plant development was demonstrated for *Gmelina arborea*, where the maximum temperature had a negative impact on the trees and the precipitation benefited the development. Concerning *Musa textilis*, a significant association with meteorological variables was not found.

Key words: diametric increase, weather variables, clones

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales (SAF) son prácticas agrícolas que integran vegetación leñosa con cultivos o animales en un mismo sitio, que generan beneficios ecológicos y económicos [1]. Entre las interacciones biofísicas que se pueden generar entre especies dentro de un SAF resalta la generación de sombra [2], donde la necesidad de un porcentaje de sombra para algunas especies beneficia su crecimiento o calidad de sus productos.

Para el caso de *Musa textilis* (Née), planta utilizada para la obtención de fibra para la producción de diferentes productos de índole industrial [3,4], existe evidencia que bajo un 50% de sombra presenta mejores rendimientos de crecimiento y recuperación fibra [5]. En Costa Rica se han incrementado las plantaciones de abacá en la región atlántica [6], por lo cual es importante conocer su comportamiento en nuevos modelos productivos, especialmente en fincas de pequeños productores que mantienen árboles remanentes o pueden optar por la siembra de árboles de valor comercial, que contribuyan a los modelos productivos de mitigación y adaptación al cambio climático, debido a que la producción de musáceas a nivel país se ha visto afectada por las variaciones de temperatura y precipitación [7].

En cuanto al abanico de opciones de especies forestales, *Gmelina arborea* ha sido utilizada en SAF como componente arbóreo para el mejoramiento del entorno de especies agrícolas [8]. En el país es la segunda especie más reforestada, debido a su facilidad de establecimiento y crecimiento rápido y disponibilidad de material genético y actualmente es la base de la materia prima para la construcción de tarimas para embalaje [9,10].

Al ser estas dos especies una opción actual para los productores de la región atlántica toma sentido evaluarlas en sistemas agroforestales es importante para conocer su rendimiento, evaluación productiva y desarrollo de los individuos en un sitio [11], por lo cual es indispensable estimar el crecimiento sea en volumen o biomasa para la planificación del aprovechamiento de los árboles [12]. Es importante llevar control de los individuos que pueden ser afectados por las características edáficas, climáticas, cantidad de nutrientes y competencia entre individuos, que lleva a la reducción de la supervivencia, crecimiento, regeneración y capacidad fotosintética [13,14].

Como mencionan Bande et al. [15] en un SAF de abacá multiestratificado las plantas presentaron un crecimiento en diámetro de 6,7 cm, donde se observó una tendencia decreciente al inicio del establecimiento y después un aumento en dicha variable debido a la regeneración de las raíces y el desarrollo de nuevas hojas para una óptima fotosíntesis. Mientras que *Gmelina arborea* muestra un comportamiento creciente durante las primeras etapas de establecimiento del SAF, Agudelo [16] observó un incremento trimestral de 3 cm en el diámetro llegando a un valor de 15 cm en un periodo de 15 meses de edad para los árboles. Al obtener diversos comportamientos de las especies en los SAF es importante mantener una evaluación constante del crecimiento y rendimiento para establecer un adecuado plan de manejo dentro del sistema. En este contexto la presente investigación busca determinar el incremento diamétrico de *Gmelina arborea* en un sistema agroforestal con *Musa textilis* y su relación con variables climáticas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El sistema agroforestal en estudio se localiza en la Estación Los Diamantes perteneciente al Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Ubicada en Guápiles, Limón, Costa Rica (N 10°15'30.98" 83°46'13.98" a una altitud de 1525 msnm, con una temperatura media anual de 25 °C, precipitación media anual de 4000 a 5000 mm [17] y según la clasificación de Holdridge [18], la zona de vida presente es Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-P) transición a basal. El lugar presentó una topografía plana, con un suelo de orden inceptisol [19], con pH de 5,5, un contenido nutricional de calcio de 3,279 mol/L, magnesio 0,505 mol/L, potasio 0,118 mol/L, fósforo 6,928 mg/L, zinc 0,4 mg/L, cobre 3,464 mg/L, hierro 92,433 mg/L, manganeso 7,937 mg/L. Así como un contenido de nitrógeno de 0,40% y carbono de 3,3%. La saturación de acidez alcanzó un porcentaje de 5%.

El experimento evaluó 17 individuos de la especie forestal *Gmelina arborea* (melina) dentro de un sistema agroforestal en conjunto con 105 plantas de la especie agrícola *Musa textilis*. El ensayo de 2600 m² está constituido por 4 callejones con especies forestales en un diseño de plantación de 3 x 3 m en tres bolillo y dos bloques de plantaciones de abacá establecidas a 2 x 2 m, las cuales están diferenciadas por el clon plantado. En el bloque 02 está cultivado con el clon INTA 06 tng, mientras que el bloque 06 presenta el clon INTA 03 tng. El SAF fue establecido en el mes de julio del 2019 y únicamente los bloques de abacá han recibido fertilización sintética con productos de sulfato de amonio y una combinación de 15-3-31, así como abono orgánico.



Figura 1. Ubicación geográfica del sistema agroforestal. Guápiles, Limón, Costa Rica.

Medición de crecimiento

Para determinar el crecimiento y factor de vigor de los árboles de *G. arborea* se realizaron mediciones del diámetro a 1,30 m sobre el nivel del suelo. En el caso del abacá se implementó el protocolo de medición del INTA, donde el diámetro (cm) de la base se midió a 15 cm sobre el nivel del suelo en plantas con menos de un metro de altura y a 1,30 m del nivel de suelo para plantas en etapas de cosecha, utilizando una cinta diamétrica. Los meses donde se realizaron las mediciones para el caso de los árboles fue en diciembre 2019, marzo, agosto, setiembre y noviembre 2020. Mientras que los bloques de abacá fueron estudiados durante el 2020 en los meses de marzo, setiembre y noviembre.

Variables meteorológicas

Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la estación meteorológica denominada Guápiles perteneciente al Instituto Meteorológico Nacional, localizada en los puntos $10^{\circ}12'18''$ y $-83^{\circ}46'18''$ y a una altitud de 253 msnm. Se tomaron en cuenta para el estudio la temperatura media, máxima y mínima, así como la humedad relativa y precipitación.

Análisis de datos

La determinación del incremento diamétrico durante el periodo de estudio se llevó a cabo a partir del promedio del diámetro de los individuos, donde se utilizó la fórmula 1 [1] para conocer el aumento en milímetros del crecimiento. Se efectuaron las pruebas estadísticas de análisis de varianza de una sola vía (ANDEVA) y prueba de Tukey para determinar diferencias entre los tratamientos de abacá. En cuanto a las relaciones entre las variables meteorológicas y el crecimiento se implementó un análisis de correlación lineal para determinar cuáles variables generaron un impacto en el proceso de crecimiento. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el programa Origin 2016 y con una significancia de 0,05.

$$I = \frac{dap\ 2 - dap\ 1}{\text{período de tiempo (meses)}} \quad [1]$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incremento en diámetro de los árboles

El incremento en diámetro de los individuos de *G. arborea* dentro del SAF evidencia un comportamiento creciente y de crecimiento rápido. En el período de diciembre 2019 a marzo 2020 (Incremento 1) hubo un promedio de 4,51 mm de incremento, en el cual se registró un aumento entre 0,28 mm y 2,75 mm mensuales. El incremento 2 fue de marzo a setiembre (5 meses) se obtuvieron datos de 8,67 mm hasta 23 mm, donde el incremento mensual promedio fue de 2,99 mm. Por último, se observó un incremento promedio de 4,75 mm hasta 9,50 mm mensual para el período final de medición entre setiembre y noviembre (Incremento 3).

Los datos obtenidos demuestran que la especie en estudio puede tener un desarrollo óptimo dentro de un sistema agroforestal. Otras investigaciones como la de Agudelo [16], reporta un incremento de 3 cm trimestrales, donde los individuos presentaron diámetros entre los 15,07 cm, datos similares al ensayo ya que a los 16 meses los árboles tenían un diámetro promedio de 17,47 cm. En otro caso un sistema agroforestal en un arreglo de maíz, plátano y frijol los individuos de dos años presentaron diámetros entre los 11,8 cm y 13 cm [21].

A pesar de obtener incrementos aceptables, una variable que puede afectar el crecimiento de la especie es la clase de sitio. De acuerdo con Zeaser [22] un sitio clase II en la zona Sur de Costa Rica, debe presentar una topografía plana, ser un suelo inceptisol o entisol, con un pH entre 5,5-6, CICE de 15-19 y saturación de acidez con valores de 3-10. En cuanto al sitio del ensayo este presenta suelos inceptisoles con un pH de 5,5, un CICE de 4,15 y una saturación de 6%, evidenciando que cumple con la mayoría de los requisitos para ser un sitio adecuado para el crecimiento de la *G. arborea*. Un aspecto que presenta deficiencias es la cantidad de nutrientes presentes en el suelo, se ha demostrado que la especie reduce su crecimiento cuando los contenidos de Ca y Mg son inferiores a 10 y 6 cmol (+) /L respectivamente, y en el caso del ensayo se obtuvo únicamente 3,28 cmol (+) /L para calcio y 0,50 cmol (+) /L de magnesio, evidenciando una falta de elementos nutricionales. Como mencionan Moya y Valarezco [23] con una adecuada fertilización de las plantas en sus primeros meses de establecimiento se pueden obtener incrementos entre 2,3 y 5,5 mm.

Los sistemas agroforestales buscan la combinación entre árboles y especies agronómicas, donde la distribución de las especies maderables puede beneficiar o perjudicar el crecimiento de otras especies. Tal como es el caso de un SAF de melina y cedro en Guatemala, presentó un incremento medio anual de 4,3 cm de dap para *Gmelina arborea*, mientras que *Cedrela odorata* su incremento diamétrico fue de 1,6 cm, evidenciando que los árboles de melina suprimen a otros individuos por su crecimiento tan agresivo [24]. Esta situación se presenta en el sitio de estudio, donde especies como *Dipteryx panamensis* y *Swietenia macrophylla* han presentado procesos de crecimiento muy lentos, donde sus diámetros van de los 2,05 cm y 4,55 cm respectivamente. En comparación a la melina que alcanza diámetros de 15 cm, evidenciando que debe mejorarse la distribución de las especies con crecimiento más lento, ya que *G. arborea* ha de generar problemas de supresión.

Incremento en diámetro de abacá

El incremento diamétrico de *Musa textilis* evidenció un comportamiento creciente en el período de marzo a septiembre, mientras que hubo una tendencia decreciente en el último período de medición (setiembre y noviembre). Durante el período de seis meses para el clon INTA 06 tng

hubo un incremento mensual de 1,68 mm, mientras que el bloque INTA 03 tng presentó un incremento de 1,52 mm. En este caso no se evidencia una diferencia significativa entre los clones.

En un estudio de abacá con cubiertas vegetales en Filipinas se registraron diámetros de 23,35 hasta 31,61 cm, evidenciando un aporte importante de nitrógeno en el suelo que beneficio la productividad de las musáceas [25]. En cuanto a los datos obtenidos el bloque con el clon INTA 06 tng las plantas tenían diámetros de 7,99 y 10,66 cm, mientras que los del bloque con el clon INTA 03 tng fueron diámetros de 8,45 y 10,12 cm, mostrando que los rendimientos registrados pueden ser más elevados para plantaciones de más de un año.

Para el caso del incremento 2 se evidenció un comportamiento decreciente, donde los dos clones mostraron datos de pérdida de grosor del pseudotallo. Además, no se evidenciaron diferencias significativas entre los dos clones, para el tng 06 se determinó un decrecimiento de -0,69 mm y para el tng 03 fue de -0,1. Este comportamiento fue evidenciando por Bande et al. [15] donde en los primeros meses del ensayo las plantas perdieron 0,5 cm de diámetro. Donde algunas de las razones de este fenómeno son [15]: i) incapacidad de hacer frente a la demanda evaporativa de las plantas recién establecidas, ii) las hojas jóvenes no se adaptaron a la alta radiación, c) raíces inactivas por daños causados por la sustracción de pseudotallos de la plata madre y d) periodos de sequía disminuyen la actividad fisiológica, causando el uso de más agua dentro de los tejidos.

Relación del crecimiento con variables meteorológicas

En la figura 2 se observan las condiciones meteorológicas en Guápiles durante el período de medición de noviembre 2019 a noviembre 2020.

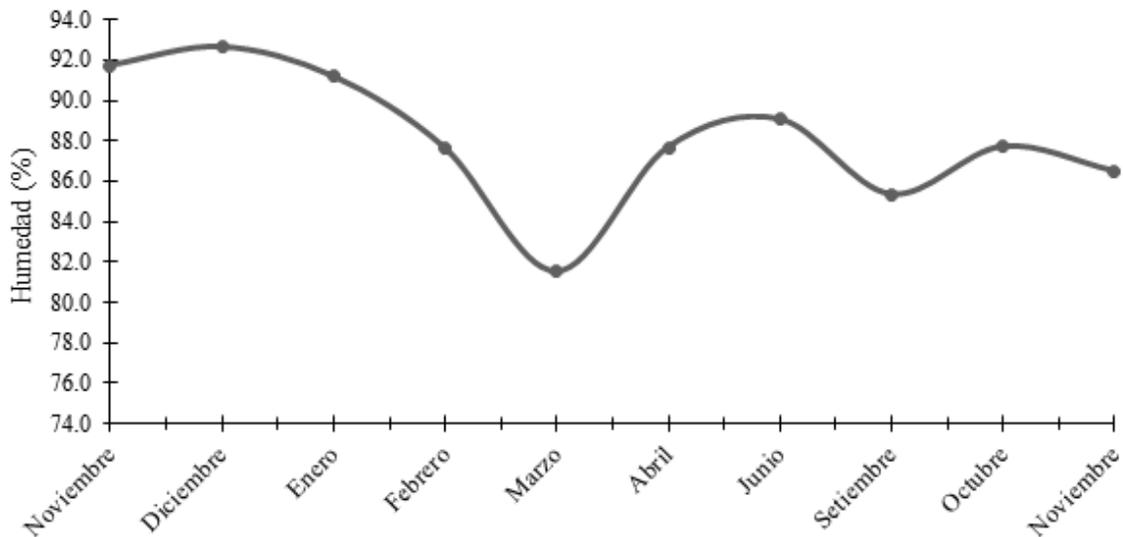
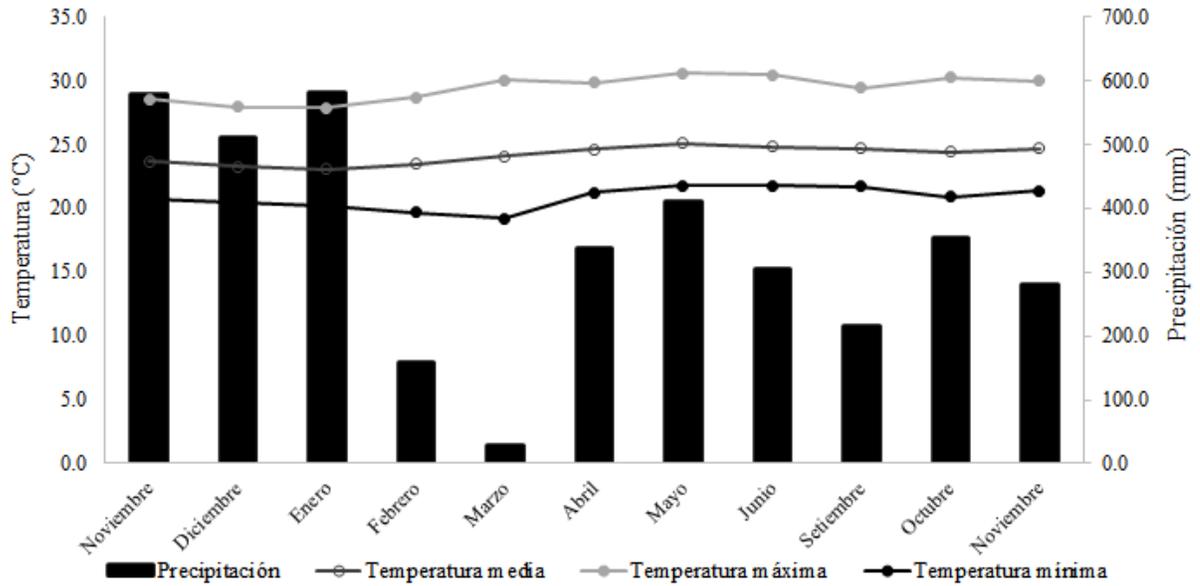


Figura 2. Condiciones de humedad en Guápiles durante el período de noviembre 2019-noviembre 2020.

Al determinar la relación de los incrementos de diámetro de *G. arborea* en función de las variables meteorológicas (cuadro 3), se evidenció una correlación positiva entre la precipitación y humedad. Estas variables presentaron coeficientes de correlación de 0,60, demostrando una relación positiva con el crecimiento diamétrico, ya que al incrementar la precipitación así lo será el crecimiento de los individuos. En cuanto a la temperatura media y mínima obtuvieron coeficientes de correlación mayores a 0,80, demostrando que las condiciones con temperaturas entre 19 y 25 °C no afectan el rendimiento de los árboles. No obstante, la temperatura máxima evidenció una correlación negativa con el crecimiento de los árboles, al tener un coeficiente fue de -0,85, por lo cual cuando se presentan temperaturas mayores a 27 °C perjudican el crecimiento de los individuos. Las condiciones meteorológicas extremas generan un decrecimiento en los individuos, ya que existe evidencia que si las plantas se encuentran en sitios donde la temperatura en periodos del año aumenta, el crecimiento disminuirá por la resistencia térmica del cambium y pérdida de agua por transpiración [26].

Cuadro 1. Coeficientes de correlación entre el incremento de árboles de *Gmelina arborea* y variables meteorológicas en un sistema agroforestal en Guápiles, Costa Rica.

Variable meteorológica	Coefficiente
Temperatura media (°C)	0,821
Temperatura máxima (°C)	-0,952
Temperatura mínima (°C)	0,852
Humedad relativa (%)	0,626
Precipitación (mm)	0,602

*significancia a 0,05

En el caso de *M. textilis* se identificó una correlación poco significativa entre las variables meteorológicas y su crecimiento, donde los valores de correlación variaron entre -0,056 y -0,117 (cuadro 4), evidenciando que no es significativa ninguna variable para el desarrollo de las plantas. Cabe de resaltar que al no tener más periodos de medición no se pudo obtener una mejor descripción del crecimiento y correlación entre las variables meteorológicas.

La precipitación y humedad son factores que influyen en el crecimiento de las plantas, ya que son relevantes en la tasa de transpiración de las plantas, debido a que su variación ocasiona el cierre de estomas [27]. Al no existir flujo suficiente de vapor de agua dentro de la planta ocasiona la reducción del área foliar y crecimiento de las raíces, el cual se traduce en patrones de poco crecimiento vegetal [28]. Castaño *et al* [29] determinaron que existe una correlación positiva y altamente significativa entre la evapotranspiración de la planta y su crecimiento diamétrico para una variedad de plátano (*Musa* AAB Simmonds). A pesar de no ser las mismas especies en estudio se refleja la importancia del recurso hídrico para un adecuado desarrollo de los cultivos.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación entre el incremento de plantas de *Musa textilis* y variables meteorológicas en un sistema agroforestal en Guápiles, Costa Rica.

Variable meteorológica	Coficiente
Temperatura media (°C)	0,018
Temperatura máxima (°C)	-0,056
Temperatura mínima (°C)	0,070
Humedad relativa (%)	0,117
Precipitación (mm)	0,015

*significancia a 0,05

CONCLUSIONES

El crecimiento de los árboles dentro del sistema agroforestal fue de forma creciente, donde se presentaron incrementos entre 0,28 y 4,75 mm durante todo el periodo de estudio, evidenciando que *G. arborea* es una especie de rápido crecimiento. En el caso de *M. textilis* se determinó un comportamiento exponencial durante los primeros meses de estudio con incrementos entre 1,68 y 1,52 mm para los clones INTA tng 06 y INTA tng 03 respectivamente, evidenciando que no existe diferencias significativas entre clones. No obstante, en el último período de medición se obtuvo un decrecimiento de las plantas, siendo la pérdida de agua una razón por la cual se tuviera este comportamiento un poco atípico en plantas con edad avanzada. El crecimiento de los

árboles se vio influenciado positivamente por la precipitación y humedad, mientras que la temperatura máxima genera el cierre de los estomas y disminuye el desarrollo de las plantas. No se obtuvo una correlación significativa entre el crecimiento de *M. textilis* y las variables meteorológicas.

REFERENCIAS

- [1] F.Casanova, L.Ramírez, D.Parsons, A.Caamal, A.Piñeiro y V. Díaz, “Servicios ambientales de los sistemas agroforestales tropicales”, *Revista Chapingo*, vol.22, no.3, Sep-Dic, 2016.
- [2] H.J. Andrade y M.A. Segura, “Dinámica de la sombra de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales con café en Tolima, Colombia”, *Agronomía Costarricense*, vol.4, no.2, pp.77-86, 2016.
- [3] C. Lacuna, “The role of Abaca (*Musa textilis*) in the household economy of a forest village”, *Small-scale Forest Economics, Management and Policy*, vol. 1, no.1, pp.93-101, 2002.
- [4] S.Richter, K. Stromann y J. Müssig, “Abacá (*Musa textilis*) grades and their properties- A study of reproducible fibre characterization and a critical evaluation of existing grading systems”, *Industrial Crops and Products*, vol. 42, pp. 601-612, 2013.
- [5] M.M. Bande, J. Grenz, V.B. Asio y J. Sauerborn, “Fiber yield and quality of abaca (*Musa textilis* var. Laylay) grown under different shade conditions, water and nutrient management”, *Industrial Crops and Products*, vol. 42, pp.70-77, 2013.
- [6] F. H., Andrade. “Contribuciones de la ecofisiología de cultivos a la producción agrícola”, Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires, Argentina, Nov. 30, 2012.
- [7] M.Vallejo, M. Chacón, S. Laprade, X. González, G. González A. Blanco y A. Lobo, “Lineamientos para el diseño de Nama Musáceas”
- [8] O.A. Melo, “Modelación del crecimiento, acumulación de biomasa y captura de carbono en árboles de *Gmelina arborea* Roxb., asociados a sistemas agroforestales y plantaciones homogéneas en Colombia”, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2015.
- [9] Instituto Nacional de Estadística y Censo, “Resultados General IV Censo Nacional Agropecuario”, 2015. [En línea] Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10581.pdf> [Accesado: Mar 21, 2020].

- [10] Oficina Nacional Forestal, “Usos y aportes de la madera en Costa Rica, Estadísticas 2018”, 2019. [En línea]. Disponible en <https://onfcr.org/usos-y-aportes-de-la-madera-en-costa-rica/>
- [11] J.M. Leiva y R. Borel, “Evaluación de tres especies forestales en plantaciones pura y sistema taungya: crecimiento de los árboles y producción de los cultivos”, *Revista Forestal Centroamericana*, no.4, 1993.
- [12] M. González, R. Cruz, E.D, Virginio y C. Á. Arias, “Influencia de factores biofísicos y de manejo en el crecimiento de *Cedrela odorata* L. en asocio con café en Pérez Zeledón, Costa Rica”, *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 15, no.36, pp.46-58, 2018.
- [13] S. Sun, Q. Cao y T. Cao “Evaluation of distance-independent competition indices in predicting tree survival and diameter growth” *Canadian Journal of Forest Research*, vol.49, no.5, pp. 440-446, 2019.
- [14] J. Hynynen, “Conceptos básicos para la modelación del crecimiento forestal”, *Recursos Naturales y Ambiente*, no.64, pp,22-27, 2011.
- [15] M. Bande, V. Asio, J. Sauerborn y V. Römheld, “Growth performance of Abaca (*Musa textilis* Née) integrated in multi-strata agroecosystems”, *Annals of Tropical Research*, vol.38, no. 1, pp. 19-35, 2016.
- [16] M. D. Agudelo, “Crecimiento y productividad de sistemas agroforestales (SAF) con cacao en estados tempranos de desarrollo en bosque seco tropical (bs-T) del departamento de Antioquia”, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2016.
- [17] A. Tapia, Capa vectorial IMN_precipitación, 2011.
- [18] L. Holdridge, *Life zone ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.
- [19] R. Mata, A. Rosales, A. Vásquez y D. Sandoval, Capa vectorial Suelos_Subordenes, 2013.
- [20] N.P. Bonza, “Evaluación del componente forestal acacia *Acacia mangium* Willd, melina *Gmelina arborea* Roxb y yopo *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg bajo sistemas silvopastoriles en el Centro de Investigación La Libertad Corpoica-Villavivencio-Meta, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá, 2014.
- [21] J.J. Zuluaga, “Crecimiento de cinco especies forestales bajo dos sistemas productivos”, en *Ciencia y tecnología para la competitividad del sector agropecuario 2020-2010: Resultado de algunos proyectos cofinanciados por el Ministerio, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*, Bogotá, 2010, 94-95.

- [22] A. Alvarado y J. Raigosa, Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales, San José: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, 2012.
- [23] R.M. Mora y C. Valarezco, “Impacto de la fertilización mineral y enmiendas sobre *Gmelina arborea* y *Schizolobium parahyba* en suelos andesíticos de la Amazonía Ecuatoriana”, Revista Centro Agrícola, no. 45, no.4, octubre-diciembre, pp.49-58, 2018.
- [24] Instituto Nacional de Bosques, “Paquete Tecnológico Forestal para *Cedrela odorata* L.”, Dirección de Desarrollo Forestal, 2019.
- [25] R. Armezin, M.H.Seco, P. Caintic y E. J. Milleza, “Effect of leguminous cover crops on the growth and yield of abaca (*Musa textilis* Nee)”, *Industrial Crops and Products*, vol. 21, pp.317-323, 2005.
- [26] O. C. Campoe, J.S.B. Munhoz, C.A. Alvares, R.L. Carneiro, E.M. de Mattos, A.P. Ferez y J. L. Stape, “Meteorological seasonality affecting individual tree growth in forest plantations in Brazil”, *Forest Ecology and Management*, vol.380, pp..149–160, 2016.
- [27] H. Medrano, J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M.Ribas y J. Gulías, “Eficiencia en el uso del agua por las plantas”, *Investigaciones Geograficas*, no. 43, pp.63-84, 2007.
- [28] A. Rojas, L. Moreno, L.M. Melgarejo y M .A. Rodríguez, “ Physiological response of *Gmelina arborea* Roxb) to hydric conditions of the colombian Caribbean”, *Agronomía Colombiana*, vol.30, no.1, Jan.-Apr., 2012.
- [29] A.M. Castaño, M. Aristizábal y H. González, “Requerimientos hídricos del plátano dominico hartón (*Musa* AAB SIMMONDS) en la región Santágueda, Palestina, Caldas”, *Agronomía*, vol.19, no.1, pp.57-67, 2011.

CAPÍTULO 5

Conclusiones y recomendaciones

CONCLUSIONES

El uso del instrumento SPAD en el manejo forestal presenta un gran potencial para determinar la cantidad de nitrógeno presente en las hojas y así obtener de forma rápida en el campo la necesidad de enmiendas. Existe una correlación moderada de 0,70 de las mediciones de SPAD con el nitrógeno foliar de las especies *Dipteryx panamensis* y *Swietenia macrophylla*.

El modelo de color CIELAB evidencio diferentes comportamientos por especie. En el caso de *Swietenia macrophylla* genera mayor correlación con el índice a* (colores verdes) mientras que *Dipteryx panamensis* evidencia una moderada relación el índice b* (color amarillo) y por último *Gmelina arborea* no presentó ninguna correlación con el índice de color.

Los árboles de *Gmelina arborea* presentaron un crecimiento óptimo dentro del sistema agroforestal con incrementos mensuales de 3,49 mm. Su desarrollo exponencial puede afectar el crecimiento de otras especies.

Para los clones de *Musa textilis* INTA tng 06 y INTA tng 03 presentaron incrementos entre 1,68 mm y 1,52 mm respectivamente, donde no se encontró diferencias significativas entre clones. Sin embargo, se presentó un comportamiento atípico de decrecimiento de los individuos, donde un factor causante es el agua.

La precipitación y humedad influye positivamente en el crecimiento de los árboles, mientras que temperaturas mayores a 30°C provocan efectos negativos en el desarrollo. Para el caso de *Musa textilis* no se evidenció una correlación significativa entre las variables meteorológicas y su crecimiento.

RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos evidencian la utilidad de métodos no destructivos para cuantificar el nitrógeno foliar. No obstante, es importante tomar en consideración obtener una muestra homogénea de hojas, así como que la recolección se de en partes del individuo específico. Ya que las mediciones con el SPAD se ven afectadas por diferentes factores como el grosor de la lámina y madurez que pueden afectar la reflectancia de la muestra.

Contemplar en las mediciones de campo datos para la validación de los modelos propuestos, con la finalidad de demostrar la efectividad de las ecuaciones propuestas. Así como la determinación de otros sistemas de color como RGB para la comparación entre índices de color y su utilidad en el manejo de la nutrición dentro de sistemas agroforestales.

Realizar mediciones más periódicas del ensayo para evidenciar con mayor precisión del incremento mensual de las plantas de abacá. Así como realizar pruebas de requerimientos hídricos.

REFERENCIAS

- [1] D. Dickinson, “Unos 24.000 millones de toneladas de suelo fértil se pierden cada año por la desertificación”, ONU Noticias, para 1, 29 de febrero, 2020. [Online], Disponible: <https://news.un.org/es/story/2019/06/1457861>.
- [2] Naciones Unidas. “Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad”, 2019. [Online]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/> [Accesado Mar 2, 2020]
- [3] M.L. Román, A. Mora y G.A González, “Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable, en el trópico seco de México”, *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 20, no. 2, pp.53-72, 2016.
- [4] V. Kumar, “Multifunctional Agroforestry Systems in Tropics Region”, *Nature Environment and Pollution Technology*, vol. 15, no. 2, pp.365-376, 2016.
- [5] Commission on Sustainable Agriculture and Climate Change, “Achieving food security in the face of climate change”, 2012. [Online]. Disponible en https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/35589/climate_food_commission-final-mar2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accesado Mar 2, 2020].
- [6] L. Marconi y L. Armengot, “Complex agroforestry systems against biotic homogenization: The case of plants in the herbaceous stratum of cocoa production system”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 287, 2020.
- [7] T.S. Rosenstock, A. Wilkes, C. Jallo, N. Namoi, M. Bulusu, M. Sube, D. Mboi, R. Mulia, E. Simelton, M. Richards, N. Gurwick y E. Wollenberg, “Making trees count: Measurement and reporting of agroforestry in UNFCCC national communications of non- Annex I countries”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 284, Nov., 2019.
- [8] D. Zhang, G. Du, Z. Sun, W. Bai, Q. Wang, L. Feng, J. Zheng, Z. Zhang, Y. Lui, S. Yang, n. Yang, C. Feng, Q. Cai, J.B. Evers, W. van der Werf y L. Zhang, “Agroforestry enables high efficiency of light capture, photosynthesis and dry matter production in a semi-arid climate”, *European Journal of Agronomy*, vol. 94, Ene., pp.1-11,2018.
- [9] L. Pumariño, G. Weldemayat, S. Gripenberg, R. Kaartinen, E. Barrios, M. Nyawira, C. Midega y M. Jonsson, “effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis” *Basic and Applied Ecology*, vol. 15, pp. 573-582, 2016.

- [10] J. Rojas, V. Caicedo y Y. Jaimes, “Biomass decomposition dynamic in agroforestry systems with *Theobroma cacao* L. in Rionegro, Santander (Colombia)”, *Agronomía Colombiana*, vol. 35, no. 2, pp. 182-189, 2017.
- [11] W.J. Blaser, J. Oppong, E. Yeboah y J. Six, “Shade trees limited benefits for soil fertility in cocoa agroforests”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 243, pp.83-91, 2017.
- [12] J. Garza, “Cultivos de abacá crecen en el país”, La República, 1 marzo, 2020. [Online], Disponible: <https://www.larepublica.net/noticia/cultivos-de-abaca-crecen-en-el-pais>
- [13] B. Bohra, N. Sharma, S. Saxena, V. Sabhlok y Y.B. Ramakrishna, “Socio-economic impact of Biofuel Agroforestry Systems on Smallholder and Large-Holder Farmers in Karnataka, India”, *Agroforestry systems*, vol. 92, no.3,Jun., pp-.759-774, 2018.
- [14] R.E. Jaimez, W. Tezara, I. Coronel y R. Urich, “Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela”, *Revista Forestal Venezolana*, vol. 52, no.2, pp.253-258, 2008.
- [15] F. H., Andrade. “Contribuciones de la ecofisiología de cultivos a la producción agrícola”, Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires, Argentina, Nov. 30, 2012.
- [16] F.Fang, L. Feng, J. Song, Y. Yuan, I. Su y K. Wang, “Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status”, *Computers and Electronics in Agriculture* , vol.71, pp.60-65, 2010.