



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

**Respuesta de nueve cultivares de musáceas en la
etapa vegetativa a cuatro niveles de sombra
agroforestal**

por

Erwid Pérez Valdivia

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

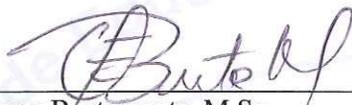
Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2012

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

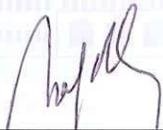
MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

FIRMANTES:

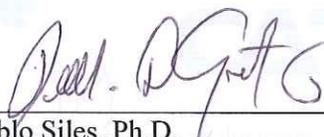


Oscar Bustamante, M.Sc.
Consejero Principal

Charles Staver, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

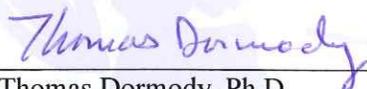


Bruno Rapidel, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

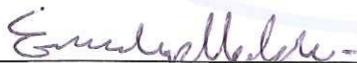


Pablo Siles, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Jürgen Bukhardt, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Thomas Dormody, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Erwid Pérez Valdivia
Candidato

CONTENIDO

CONTENIDO.....	III
RESUMEN.....	IV
SUMMARY.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIV
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos de la investigación.....	3
1.1.1 Objetivo General.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.1.3 Hipótesis.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Generalidades sobre domesticación de Musáceas.....	4
2.2 Algunas características morfológicas de musáceas.....	4
2.3 Producción de materia seca de las musáceas.....	5
2.4 Condiciones ambientales del crecimiento de musáceas.....	6
2.5 Generalidades de la tasa fotosintética de las musáceas.....	6
3 METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO.....	8
3.1 Ubicación del experimento.....	8
3.2 Establecimiento de las parcelas experimentales.....	8
3.3 Diseño del experimento.....	9
3.4 Labores culturales en las musáceas.....	10
3.5 Método y frecuencia de los registros de datos para las diferentes variables en estudio.....	11
3.6 Registros de datos agroclimáticos en el área de investigación.....	13
3.7 Documentación y análisis estadísticos de los datos colectados.....	15
3.8 Análisis estadístico.....	15
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1 Resultados.....	16
4.1.1 Características agroclimáticas de las parcelas experimentales.....	16
4.1.2 Efecto de la sombra sobre el crecimiento vegetativo de diferentes cultivares de musáceas establecidos en sistema agroforestal.....	22
4.1.3 Parámetros de intercambio gaseoso.....	33
4.2 DISCUSIÓN.....	43
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
5.1 Conclusiones.....	50
5.2 Recomendaciones.....	51
7 BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	52
8 ANEXOS.....	58

RESUMEN

El presente estudio fue realizado para evaluar el efecto de cuatro niveles de sombra natural sobre las variables de crecimiento vegetativo e intercambio gaseoso a nivel foliar, de nueve cultivares de musáceas establecidas en un sistema agroforestal, asociadas con café y árboles de poró (*Erythrina poeppigiana*). El experimento fue establecido en el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE, Costa Rica) en el 2010 en una plantación existente de café orgánico. El crecimiento vegetativo y el intercambio gaseoso de musa en tres niveles de sombra natural (25, 50 y 75%) fueron comparados con un testigo con mínima sombra (8%). Las variables climáticas fueron monitoreadas a través de sensores establecidos en cada parcela y otras fueron obtenidas de la estación meteorológica del CATIE. Las variables; número de hojas emitidas, área foliar, altura, circunferencia basal del pseudotallo y longitud de inserción foliar, fueron medidas mensualmente durante los primeros 5 meses de crecimiento. La distribución de la biomasa en; hojas, pseudotallos, hijos y cormos, fueron medidas a los 5 meses después del trasplante a través del método destructivo en 6 cultivares. Las mediciones de intercambio gaseoso fueron realizadas en la tercera hoja recientemente expandida por medio de un sistema portable que consta de un analizador infrarrojo de gases (LI-6400XT, Li-Cor, Lincoln, NE).

Este estudio revela que las plantas de musa bajo un 75% de restricción de luz crecieron en un ambiente menos cálido (-1.4 °C) comparadas con las plantas bajo 8% de sombra. Por otro lado, la sombra proporcionada por los árboles se tradujo en un incremento en la humedad relativa (+15%), lo que significa que las plantas con menos sombra de los árboles (8% de sombra) crecieron en un ambiente con aire más seco.

Se encontró una diferente respuesta a la sombra, dentro los grupos genómicos de musáceas evaluados en los niveles 8, 25, 50 y 75%, según las variables medidas. Una menor disponibilidad del flujo de radiación en la parcela 75% de sombra con respecto a la 8 %, se tradujo en una disminución en hojas emitidas en todos los cultivares. Dentro de la aclimatación de musa a la sombra además de disminuir la cantidad de hojas emitidas, el área foliar es menor en la sombra (75%) con respecto a las plantas que crecen con menos restricción de luz (8%), siendo la excepción, el cultivar Gros Michel, para el cual, el área foliar fue igual en todos los niveles de sombra.

Por otro lado, las variedades de porte bajo (Plátano enano AAB, Morado AAA y Williams AAA) fueron las únicas variedades afectadas considerablemente por la sombra, con valores de altura de la planta que disminuyen a medida que se incrementa la restricción de luz.

El cultivar Gros Michel, fue el que no mostró una repuesta a la sombra en las variables; área foliar, altura, circunferencia basal del pseudotallo. No obstante mostró una repuesta en las variable inserción del área foliar e índice de uso eficiente del agua. Lo que demuestra una aptitud para crecer en condiciones de sombra que son características de los

sistemas agroforestales café-banano-árboles en Centroamérica, además de tener buena demanda en el mercado.

Un incremento en el flujo de fotones fotosintéticos (*FFF*) resultó en un incremento en la fotosíntesis neta en todos los niveles de sombra (8, 25, 50, 75%). Sin embargo, la fotosíntesis neta máxima (a 2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) no fue afectada por la sombra en todos los cultivares.

En términos generales, la producción de biomasa de musa disminuyó con la sombra. La distribución de la producción de biomasa fue hoja>tallos>cormos>hijos. De acuerdo a los resultados, se concluye que la sombra reduce el crecimiento vegetativo de los cultivares evaluados. Sin embargo, la magnitud del efecto de la sombra está en dependencia del cultivar.

SUMMARY

The present study was carried out to evaluate the effect of four levels of natural shade on variables of vegetative growth and gas exchange on leaf level in nine cultivars of *Musa* planted in an agroforestry system in association with coffee and poró trees (*Erythrina poeppigiana*). The experiment was established in the Center for Research and Education in Tropical Agriculture (CATIE) in Costa Rica in 2010, in an existing plantation of organic coffee under tree shade. The vegetative growth and gas exchange of *Musa* in three levels of natural shade (25, 50, 75%) were compared with a control treatment of minimal shade (8%). The climatic variables were monitored using sensors installed in each plot and through records of the CATIE meteorological station. The number of emitted leaves, leaf area, pseudostem height, basal circumference and length of foliar insertion were measured monthly during the first 5 months of growth. The total biomass and its distribution in leaves, pseudostem, suckers and corms were measured at 5 months after planting using destructive methods for 6 cultivars. Measurements of gas exchange in terms of photosynthetic light curves were carried out in the third leaf most recently expanded with a portable system of an infra-red analyzer of gases (LI-6400XT, Li-Cor, Lincoln, NE).

This study shows that the banana and plantain plants under 75% of light restrictions grew in a slightly cooler environment (-1.4°C), compared to the plants in the 8% shade control plot. The shade provided by the trees translated into an increase in relative humidity (+15%), which implies that plants with less shade grew in an environment of drier air. Differences were found between the evaluated *Musa* cultivars in their response to the different shade levels (8, 25, 50, 75%) according to the measured variables.

At lower levels of solar radiation (75%) the emission of leaves was reduced for all cultivars of the different genomic groups, as compared to plants growing with minimal shade. Additionally, the leaf area is smaller in the 75% shade plot, with the only exception of the cultivar Gros Michel, which maintains the same total leaf area for all shade levels. Among the evaluated cultivars, the dwarf varieties (Plátano enano AAB, Morado AAA y Williams AAA) were most affected by the shade, with decreasing plant height at increasing restriction of solar radiation. The cultivar Gros Michel was not affected by the shade with respect to the variables leaf area, height and basal circumference of the pseudostem. However, in the variables of length of foliar insertion and the efficiency of water use Gros Michel responded to the shade treatment. In summary, Gros Michel showed a good acclimatation with respect to the evaluated growth variables. This demonstrates its suitability for growing in shade conditions that are characteristic for agroforestry systems with coffee, banana and trees in Central America, being also highly

An increase in photosynthetic photon flux (PPF) translated in an increased net photosynthesis at all shade levels (8, 25, 50, 75%). However, the maximum net photosynthesis (at $2000\ \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) was not affected by shade for all cultivars.

In general, the production of biomass decreased with increasing shade. The distribution of biomass was as follows in decreasing order: leaves, pseudostems, corms, suckers. According to the results, it is concluded that shade has a general effect of decreasing the vegetative growth of musa cultivars, however the magnitude of the effects depend on the cultivar.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Conjunto de ecuaciones que determina el área individual de hoja de musáceas	5
Cuadro 2. Tasas máximas de fotosíntesis en musáceas reportada por diferentes autores.....	7
Cuadro 3. Cultivares del experimento y algunas características morfológicas observadas durante la fase de colección de semilla y ejecución del experimento.....	9
Cuadro 4. Tipos de musáceas y número de plantas para cada fase del experimento	10
Cuadro 5. Resultados del análisis químico y físico de las parcelas experimentales	20
Cuadro 6. Resultados del muestreo del IAF estrato arbóreo en dos diferentes momentos	20
Cuadro 7. Muestreo del porcentaje de sombra según el equipo IAF 2200 en tres parcelas experimentales	21

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Relación entre la tasa de emergencia de la hoja en una base relativa	5
Ecuación 2. Modelo matemático postulado para las observaciones	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Precipitación (mm) y radiación solar (MJ/m ²) descritos por semana desde Mayo hasta la primera semana de octubre 2010, en la estación meteorológica del CATIE.	16
Figura 2: Temperatura (°C) registrada por semana desde mayo hasta la primera semana de octubre 2010, en cada parcela.	17
Figura 3. Amplitud térmica (°C), registradas por semana desde mayo hasta la primera semana de octubre 2010, en cada parcela.	18
Figura 4. Humedad relativa y amplitud de la humedad relativa (%), registradas por semana desde mayo hasta la primera semana de octubre 2010, en cada parcela.	18
Figura 5. Muestreo de la disponibilidad de agua (%) para musáceas bajo un gradiente de sombra durante la ejecución del estudio.	19
Figura 6. Promedio de emisión foliar por planta de musáceas entre la semana 5 y semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	22
Figura 7. Emisión foliar por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	23
Figura 8. Promedio del área foliar por planta de musáceas entre la semana 5 y la semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	24
Figura 9. Área foliar por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	25
Figura 10. Promedio de altura de la planta de musáceas entre la semana 5 y semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	26
Figura 11. Altura de la planta por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8%, 25%, 50%, 75%).	27
Figura 12. Promedio de la circunferencia basal por planta de musáceas entre la semana 5 y la semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	28
Figura 13. Circunferencia basal por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	29
Figura 14. Promedio de la inserción foliar por planta de musáceas entre la semana 5 y semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	30

Figura 15. Inserción foliar por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75).	31
Figura 16. Fotosíntesis y respiración [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2)/\text{m}^2 \text{s}$] en diferentes cultivares de musáceas para cada parcela; 8% (a), 25 % (b), 50% (c) y 75 % (d) entre 15 a 19 semanas después del trasplante.	33
Figura 17. Fotosíntesis neta (A_n) a 2000 (μmol de fotón/ $\text{m}^2 \text{s}$) por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) entre las semanas 15y 19 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	34
Figura 18. Índice uso eficiente del agua por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d), entre las semanas 15 y 19 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	35
Figura 19. Partición de la materia seca por grupo genómico AAA, AAB y ABB para el cormo (c), follaje (f), hijos (h) y tallos (t) bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	37
Figura 20. Partición de materia seca dentro grupo genómicos AAA para cormo (c), follaje (f), hijos (h), tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	39
Figura 21. Partición de materia seca dentro grupo genómicos AAB más ABB, para cormo (c), follaje (f), hijos (h), tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Variable humedad del suelo (%) de cuatro parcelas experimentales, registrada durante los meses de Junio a Octubre	58
Anexo 2. Variable emisión foliar de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	59
Anexo 3. Variable área foliar de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	60
Anexo 4. Variable altura delseudotallo de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	61
Anexo 5. Variable circunferencia basal delseudotallo de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	62
Anexo 6. Variable inserción foliar de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	63
Anexo 7. Variable Respuesta fotosintética de las musáceas a una máximo flujo de energía 2000 (μmol de foton/ $\text{m}^2\cdot\text{s}$), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)	64
Anexo 8. Variable Uso eficiente del agua, de las musáceas a una máximo flujo de energía 2000 (μmol de foton/ $\text{m}^2\cdot\text{s}$), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	65

Anexo 9: Variable Partición de la materia seca por grupo genómico AAA, AAB y ABB para el cormo (c), follaje (f), hijos (h) y tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	66
Anexo 10. Variable partición de materia seca dentro grupo genómicos AAA, para cormo (c), follaje (f), hijos (h), tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	67
Anexo 11. Variable partición de materia seca dentro grupo genómicos AAB más ABB, para cormo (c), follaje (f), hijos (h), tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).....	68
Anexo 12. Variable Peso seco (grs) medio de disco foliar de musáceas en diferente nivel de sombra parcela.....	68
Anexo 13. Plano de referencia de la alineación de las parcelas experimentales.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS

SIGLAS	INTERPRETACIÓN
AF	Área foliar (m ²)
d	días
D.E	Desviación estándar
E.E	Error estándar
h	hoja
Ha	hectárea (10000 m ²)
HR	Humedad relativa (%)
mm	milímetros
MS	Materia seca (gr)
msnm	metros sobre el nivel del mar
m ²	metro cuadrado
PS	Peso seco (gr)
SAF	Sistemas agro-forestales
sdt	semanas después del trasplante
s	segundos (tiempo)
T	Temperatura °C.

1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de banano (*Musa spp.*) es una planta de origen tropical, que se cultiva con fines comerciales desde el Ecuador hasta latitudes mayores a 30° (Turner 1983). Se estima que el 85% de la producción mundial de banano procede de parcelas relativamente pequeñas y huertos familiares (FAO 2011 consultado en línea). El Banano y plátano (*Musa spp.*) son cultivados en diferentes sistemas de producción en todo el mundo, tanto en monocultivo como en sistemas agroforestales (Stover and Simmonds 1987). Las musáceas (*Musa spp.*) han sido tradicionalmente un componente en los sistemas de estratos múltiples por los pequeños productores en los trópicos (Norgrove 1998). En zonas cafetaleras de Honduras y Nicaragua estudios recientes han demostrado que más del 70% de los productores asocian musáceas con café y con árboles maderables para fines económicos (Schibli 2001). Estudios realizados en los últimos 50 años indican que la sombra incrementa el tiempo a la floración y cosecha, posiblemente como resultado de las temperaturas menores en ambientes bajo sombra (Murray 1961; Eckstein 1994) aunque por otro lado, otros estudios han demostrado que la sombra no afecta el tamaño del racimo, e incluso, en algunos casos, los racimos son de mayor peso comercial (Murray 1961; Vicente-Chandler *et al.* 1966; Eckstein 1994). Los efectos de la sombra dependen de las variedades; en plátano bajo sombra decreció el número de frutos por racimo, en cambio, el banano aumentó (Chandler *et al.* 1966). Por otro lado, el efecto de la sombra sobre sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) puede reducir y por ende los costos de producción en el cultivo de plátano también, pueden ser reducidos (Garnica 2003). El área foliar, la posición de las hojas y de la lámina misma, juegan un papel importante en el proceso de fotosíntesis, principalmente por la captación de la energía solar (Bruin 1991). Dold (2007, datos no publicados) en Turrialba, Costa Rica, encontró que Gros Michel bajo sol presentó mayor pliegue de la lámina que la hoja bajo sombra. Al comparar la capacidad fotosintética de los cultivares Gros Michel y Williams del sub grupo Cavendish se ha observado que el cultivar Williams presenta una mayor tasa fotosintética a medida que incrementa el flujo de luz. Además no presenta signos de saturación aún a altos niveles de luz (Thomas *et al.* 1998; Turner 1998). La transmisión de luz al banano asociado con café y árboles es reducida (Dold *et al.* 2007, datos no publicados), por lo tanto, la sombra es un factor limitante en estos sistemas (Dold 2010). La asimilación neta de dióxido de carbono en banano se reduce gradualmente a medida que incrementa la sombra, no obstante, el área específica de la hoja de banano incrementa proporcionalmente con el aumento de la sombra (Senevirathna 2008). Curvas de respuesta a la luz indican que diversas variedades de banano pueden adaptarse mejor a la sombra (Turner 1998; Turner *et al.* 2007).

Diferentes variedades de banano son incorporadas en sistemas mixtos con café y banano en Centroamérica. Dold (2010) encontró 13 variedades en cafetales en Nicaragua y Costa Rica, pero las variedades más comunes fueron el ‘Gros Michel’ y Congo (AAA) respectivamente. El mejoramiento de los métodos de producción para el cultivo de *Musa* sembrada en presencia de

árboles, no solamente puede mantener o incrementar la productividad, sino que también puede contribuir a diversificar los ingresos y proporcionar servicios ambientales.

El objetivo del presente trabajo es conocer la respuesta de nueve diferentes variedades de banano en asocio con café y árboles, en función de características morfológicas y fisiológicas para lograr un mejor manejo del cultivo en estos sistemas.

1.1 Objetivos de la investigación

1.1.1 Objetivo General

- 1- Evaluar el crecimiento vegetativo e intercambio gaseoso de nueve variedades de banano en respuesta a cuatro diferentes niveles de sombra natural durante los primeros cinco meses de crecimiento vegetativo de las plantas en el campo.

1.1.2 Objetivos específicos

- 1- Describir las condiciones microclimáticas bajo diferentes niveles de sombra en sistemas agroforestales.
- 2- Evaluar el crecimiento vegetativo de 9 cultivares de banano bajo diferentes niveles de sombra natural.
- 3- Describir la respuesta a la luz a nivel foliar de 9 cultivares de musáceas, en la etapa de crecimiento vegetativo, bajo un gradiente de sombra.

1.1.3 Hipótesis

Hipótesis nula

1. Diferentes cultivares de musáceas disminuyen el crecimiento vegetativo a medida que se incrementa el nivel de sombra.
2. Diferentes cultivares de musáceas muestran una respuesta de aclimatación a medida que se incrementa el nivel de sombra.
3. Diferentes cultivares de musáceas disminuyen la producción de materia seca, a medida que se incrementa el nivel de sombra.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre domesticación de Musáceas

El cultivo de musáceas se remonta desde 400 años antes de Cristo, según los hallazgos de evidencia en petrolitis encontrada en el lugar de Reber, Rakival Lapita en Watson Island Papua New Guinea (Lentfer 2004). Según De Langhe (1999), el género *Musa* es clasificado en cuatro secciones, de los cuales solamente dos son cultivados; *Australimusa* ($2n=20$ cromosomas) y *Eumusa* ($2n=22$ cromosomas en la forma silvestre). Según Simmonds (1966), citado por Turner *et al.* (1984), los bananos comestibles y plátanos se pueden clasificar según la lógica taxonómica en: Orden: Zingiberales, Familia: Musáceas, Género: *Musa*, Sección: *Musa Acuminata*, *Musa Balbisiana*. La mayoría de los cultivares comestibles son el producto de la hibridación de *M. Acuminata*, *M. Balbisiana*, (Crane *et al.* 2005). Como consecuencia de la hibridación, en la literatura hace referencia al origen genómico de cada cultivar, por ejemplo: Baby (AA), el cual se entiende que el origen genómico está dado por *Musa acuminata*, Filipita (ABB), *Acuminata Balbisiana Balbisiana*.

2.2 Algunas características morfológicas de musáceas

La altura y circunferencia basal del seudotallo en las musáceas varían conforme la genética y generación del cultivar, entre otros. El cultivar Dwarf Parfitt (AAA) puede alcanzar una altura de 81 cm; mientras tanto, el cultivar Green Red (AAA) puede alcanzar los 354 cm (Turner *et al.* 1984; Turner 1987). Las condiciones ambientales pueden ser otro factor que interviene en la altura y circunferencia basal del seudotallo. Trabajos de investigación realizados en el cultivar Gran enano (AAA) describen una disminución de 30 cm aproximadamente cuando éste se cultivó bajo un nivel de sombra de 70% (Israeli 1995).

Al igual, que la altura del seudotallo, el tamaño y la emisión de hojas de las musáceas pueden variar de un cultivar a otro. Por lo general, las musáceas pueden llegar a emerger de 30 a 60 hojas por cada brote de hijo (Turner 1998). Las primeras hojas presentan una forma no descriptible, las posteriores a éstas se describen de una forma lanceoladas y por último toman una forma laminar. El conjunto de hojas, incluyendo las hojas de los hijos, forman el índice de área foliar, cuyo valor puede oscilar entre 2 y 5 para plantaciones comerciales (Turner *et al.* 2007). El desarrollo completo de una hoja puede requerir de 7 días, sin embargo, bajo condiciones adversas, el desarrollo de una hoja puede llevar entre 15 a 20 días (Calier *et al.* 2002). Según Turner (1998), en condiciones subtropicales, la temperatura gobierna sobre la tasa de emisión de hojas. La tasa de emisión de la hoja con relación a condiciones climáticas ha sido estudiada por muchos autores. Mekwatanakarn *et al.* (1989) describen el modelo matemático para el cultivar Williams como;

$$\mu / \mu_{\max} = 0.875 - 0.22429T + 0.01854T^2 - 0.000375T^3$$

Donde; μ es la tasa de emergencia de la hoja (hoja/día) a una temperatura dada (T °C), μ_{\max} tasa de la emergencia de la hoja (hoja/día), para una temperatura óptima (°C). Según el autor el modelo permite predecir con cierta exactitud el tiempo de emergencia de cada hoja, para el cultivar evaluado.

El área foliar individual de cada hoja en las musáceas puede variar entre un cultivar y otro. Turner *et al.* (2007), reportan un área de $4m^2$ para la hoja de banano. Para determinar el área de la hoja de banano lo que se ha hecho tradicionalmente es medir el largo y ancho de la hoja multiplicado por un factor de corrección. Este factor puede variar según el autor, el método usado y la genética del cultivar. En el siguiente cuadro, se describe el número de ecuaciones que facilitan el cálculo del área de la hoja de musáceas.

Cuadro 1. Conjunto de ecuaciones que determina el área individual de hoja de musáceas

Ecuación	Cultivar	Fuentes
L*A*0.68	Kisansa (AAA-EAHB)	(Nyombi <i>et al.</i> 2009)
L*A*0.755	Embul (AAB)	(Senevirathna 2008)
L*A*0.80	NR*	(Murray 1960. citado por Turner 2003)
L*A*0.83	Grand Nain (AAA), Williams, Cavendish chino, Grane naine de Israel	(Summervill 1994, citado por Israeli (1995), Eckstein <i>et al.</i> 1997, Eckstein, <i>et al.</i> 1998)

L: Longitud máxima de la hoja; A: Ancho máximo de la hoja; * NR: No reportado, se asume que es general para todas las musáceas.

2.3 Producción de materia seca de las musáceas

La producción de materia seca en los cultivares de musáceas puede variar según el cultivar, sistema de producción y condiciones agroclimáticas. El cultivar de banano Kolikutt (AAB), cultivado durante 28 meses en asocio con árboles en un sistema de siembra de triple hilera aumentó la producción de materia seca en un 188%, con respecto al sistema de siembra de monocultivo (Rodrigo *et al.* 2001). Por otra parte en el cultivar Embul (AAB) cultivado durante 7 meses bajo sombra (60% aproximadamente), redujo la producción de materia seca en 32%, con respecto al tratamiento a pleno sol (Senevirathna *et al.* 2008).

2.4 Condiciones ambientales del crecimiento de musáceas

Las musáceas se han establecido en un amplio gradiente de condiciones agroecológicas. Scot *et al.* (2006) considera que la altitud aceptable oscila entre 0 a 920 metros sobre el nivel de mar (msnm), sin embargo hay muchas evidencias de que el banano puede crecer a más de 2000 msnm. La temperatura óptima para banano oscila entre 26 a 28°C y la máxima oscila entre 35 a 37°C (Scot *et al.* 2006). Sin embargo, se debe considerar que temperaturas de 30 a 37°C pueden provocar un calentamiento en la hoja del banano (Turner *et al.* 1983).

Referente a la precipitación, en literatura revisada se ha encontrado que 2000mm de agua bien distribuidos durante el año es suficiente para que prospere el cultivo de banano (Soto 1990). Sin embargo el requerimiento mínimo puede estar cerca de los 500mm anuales (Scot *et al.* 2006).

2.5 Generalidades de la tasa fotosintética de las musáceas

Según Sierra *et al.* (2010), las musáceas pertenecen al grupo C₃. Esto podría implicar que las musáceas están sometidas a una serie de características predominantes en las C₃, entre las cuales se puede citar un bajo índice de uso eficiente del agua con respecto a las C₄ (Olalla *et al.* 2005). En otras palabras, al determinar el uso eficiente de agua a través de la forma: fotosíntesis dividido entre la transpiración (Ver manual 3 de LI6400 XT p 84), es menor que en las plantas C₄.

En el siguiente cuadro se puede observar la tasa máxima de fotosíntesis reportada por diferentes autores para diferentes cultivares de musáceas.

Cuadro 2. Tasas máximas de fotosíntesis en musáceas reportada por diferentes autores

Cultivar	Radiación (μ moles de fotones/m*s)	Fotosíntesis (μ moles de CO ₂ /m*s)	Transmitancia de luz	Fuente	Notas
Williams (AAA)	1261.1*	18.18 *	NR**	Thomas <i>et al.</i> (1988)	Cultivado en potes de 10L, durante 3 meses
Williams (AAA)	1855*	24.3*	100 %	Thomas <i>et al.</i> (2001)	
Williams (AAA)	900.4*	19.68*	50 %	Thomas <i>et al.</i> (2001)	
Lady Finger (AAB)	1475*	19.54 *	NR**	Thomas <i>et al.</i> (1988)	Cultivado en potes de 10L, durante 3 meses
Dominico (AAB)	NR**	15.8	100 %	Cayón (2004)	
Hartón (AAB)	NR**	13.9	100 %	Cayón (2004)	
Dominico – Hartón (AAB)	NR**	12.7	100 %	Cayón (2004)	
Embul (AAB)	1801	21,5	100 %	Senevirathna (2008)	Medido en campo a los 6 meses después del trasplante
Pelipita (ABB)	NR**	16.1	100 %	Cayón (2004)	
Cachaco (ABB)	NR**	21.7	100 %	Cayón (2004)	
Bluggoe (ABB)	1145.4*	15.18 *	NR**	Thomas <i>et al.</i> (1988)	Cultivado en potes de 10L, durante 3 meses

*Valores aproximados a lo reportado en forma de figuras por el autor NR** No Reportado.

Los valores reportados en el cuadro 2 demuestran una alta variación en la tasa máxima de fotosíntesis. Esta variación se podría atribuir a la variabilidad del estado fenológico y condiciones ambientales de los diferentes cultivares de musáceas usados en los diferentes estudios.

3 METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO

3.1 Ubicación del experimento

El trabajo de investigación se realizó en la finca comercial del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) – Turrialba, ubicada aproximadamente en las coordenadas geográficas 9° 53' Latitud Norte y 83° 38' Longitud Oeste a una altitud de 602 msnm, con datos climatológicos promedios anuales de 2708 mm de precipitación, humedad relativa de 88.3%, evaporación potencial de 94.3 mm promedio anual (para un tanque Tipo A), temperatura de 21.8°C, radiación solar de 16.6 MJ/día*m², hora solar de 4.6 horas diarias y una velocidad del viento de 0.6 m/s (Tomado de la página Web del CATIE, julio del 2011). El área se clasifica como tropical de bosque húmedo templado fresco según la clasificación de zonas de vida de Holdrige (1978). Los suelos están clasificados en Typic Dystropets con fertilidad baja a media según el estudio de Aguirre (1971). La pendiente del terreno oscila entre 6 a 10 %. Las parcelas experimentales cuentan con un drenaje natural en la parte sur-oeste.

3.2 Establecimiento de las parcelas experimentales

Las parcelas experimentales estaban compuestas por un estrato arbóreo dominado por árboles de poró [*Erythrina poeppigiana* (Walp D.F. Cook)], sembrados a una distancia de 6x6m. La altura de los árboles de poró fue de 8 metros (desde nivel de suelo hasta la copa). Dentro de las parcelas y bordes de éstas, se encontraron otros tipos de árboles que no fueron manejados por estar en crecimiento vegetativo con fines maderables. Así por ejemplo en las parcelas 8, 25, 50 y 75%, se contabilizaron 7, 4, 7 y 8 árboles no leguminosos, respectivamente. Para mantener la homogeneidad de la sombra dentro de las parcelas, se en algunas de ellas se aplicó un agobio de algunas ramas de poro. En el caso de la parcela 50% de sombra, se complementó con sarán (maya de polietileno con 50 % sombra de la luz).

En el mes de febrero, en la parcela destinada para mínima sombra se cortaron los árboles de poró a una altura de 1.5m, los residuos de éstos fueron arreglados dentro de las calles de los cafetos, dejando libres las calles en donde se sembraron las plantas experimentales y bordes de musáceas.

Las cuatro parcelas experimentales tienen como cultivo principal el café con una edad de 30 años aproximadamente (De Melo 2011, comunicación personal). Los cafetos tienen una distancia de siembra de 1m entre plantas y 1,5m entre hileras. En febrero del 2010, todos los cafetos fueron podados a la altura de un metro, una vez podados se continuó con la actividad de corte de las bandolas, finalmente se realizaron los hoyos para la siembra de las musáceas con dimensiones de 30x30x30cm (largo x ancho x profundidad), en abril 2010.

La siembra de las musáceas, proveniente de vivero con edades de 67 días aproximados, se realizó en las dos primeras semanas del mes de mayo del 2010. Esta siembra consistió en verter medio kilogramo de gallinaza en el fondo de cada hueco. Posteriormente, se colocó la planta de musácea, teniendo el cuidado de dejar la planta en forma perpendicular. Además, se

mantuvo siempre el cuidado de verter la tierra que se encontraba en la parte superficial del suelo al momento de hacer el hueco (ésta se reconocía por presentar un color negro semi-intenso), la tierra que se extrajo de la parte inferior del hueco se dejó en la parte superficial del suelo (color café oscuro). En algunos casos cuando fue conveniente se hizo una pequeña terraza en la base de la planta.

3.3 Diseño del experimento

El diseño experimental consistió en el establecimiento de cuatro niveles de sombra natural. La dimensión de cada parcela fue de 36 x 36m (1296m²) para un área total del experimento de 5184m². Las parcelas estaban ubicadas en forma lineal con una lógica de recorrido de 8, 75, 50 y 25%, la parcela 8% estaba hacia el sur-este y la 25% más hacia noroeste (Ver Anexo 4).

La arquitectura de los estratos de sombra estuvo compuesta por árboles de poró y otros árboles no leguminosos. La parcela de mínima sombra (8%) estaba formada por un estrato de poró manejado con poda drástica cada 3 meses. Los restantes árboles no leguminosos (7) que superaron el estrato de poró no fueron manejados. De igual forma, las parcelas 25, 50 y 75%, estuvieron compuestas por árboles de poró, con otros árboles no leguminosos.

En cada parcela se establecieron 9 cultivares de musáceas, los cuales se describen en el cuadro 3.

Cuadro 3. Cultivares del experimento y algunas características morfológicas observadas durante la fase de colección de semilla y ejecución del experimento

Nombre ¹	Nombre común	Grupo ¹	sub grupo ¹	Descripción morfológica
Pisans mas	Baby, dátil	AA	sucrier	Seudotallo con coloración rojiza, hojas lanceoladas, con posición de tendencia erectófila, frutos pequeños ovalados.
Gros Michel	Guineo blanco, Legítimo	AAA	Gros Michel	Seudotallo verde de gran altura (< 5 m), con ciertas manchas negras, hojas con posición de tendencia erectófila.
Mossi	Morado, red makabu, Caribe rojo	AAA	Red	Seudotallo porte bajo. Cáscara del fruto de color rojo ocre, pulpa casi anaranjada, hojas de forma ovalada.
Williams	Williams	AAA	Cavendish	Seudotallo de porte bajo > 2.5 m. Hojas ovaladas, erectófila, peciolo corto. Porte bajo > 2.5 hojas ovaladas.
	Plátano enano, Curaré enano	AAB		
	Plátano Curaré,	AAB		Seudotallo de color verde amarillento altura entre 3 a 4 m, hojas ovaladas.
Silk	Manzano	AAB		Seudotallo verde a verde claro, hojas con tendencias plagiófila, lanceoladas, con peciolo largo, frutos pequeños.
Bluggoe	Guineo cuadrado, guineo chanco	ABB		Seudotallo verde amarillento, hojas lanceoladas plagiófila, peciolo largo.
	Filipita, pelipita	ABB	Pelipita	Seudotallo verde, hojas con tendencia erectófila.

¹ Las descripciones se obtuvieron de la revisión bibliográfica citada en este estudio y del catálogo de musáceas (Daniells. *et al.* 2001)

Al momento del trasplante los diferentes cultivares de musáceas fueron distribuidos al azar entre las filas del cultivo de café. La distancia de siembra inicial estuvo comprendida por: 3.25 m entre plantas dentro la misma fila y 3 m entre filas. El número de plantas por cultivares usados en el experimento comprendió 5 plantas por tratamiento de cada cultivar. En el caso de los cultivares Gros Michel, plátano curaré y Williams, presentaron 5 plantas adicionales para permitir la toma de datos de crecimiento vegetativo y de MS (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tipos de musáceas y número de plantas para cada fase del experimento

Cultivar	No. plantas a cosecha	No. plantas a producción MS	Total de plantas
Baby (AA)	5		5
Gros Michel (AAA)	5	5	10
Morado (AAA)		5	10
Williams (AAA)	5	5	5
Plátano enano (AAB)		5	5
Plátano Curaré (AAB)	5	5	10
Manzano (AAB)	5		5
Bluggoe (ABB)	5		5
Filipita (ABB)		5	5
Total de plantas por parcela			60

3.4 Labores culturales en las musáceas

Una de las plagas que se detectó en el experimento fue el picudo del plátano (*Cosmopolites sordidus*, Germar). Para el manejo de ésta plaga se usaron trampas de disco de seudotallo de banano durante los tres primeros meses (5 trampas en cada parcela). Las trampas se confeccionaron con la metodología citada por Cubillo (2001). Posterior a este tiempo no se realizó ningún tipo de control del picudo. La segunda plaga que se manejó fue los zompopos (*Atta spp.*). En este caso, como las parcelas de producción de café tienen el registro orgánico, se procedió a controlar los zompopos por medio de las recomendaciones orgánicas. Se sembró canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) y zacate de limón (*Cymbopogon citratus* D.C.) sobre el sitio (nido) de los zompopos. Finalmente se aplicó OMITOX 3 GB, (octaborato de sodio), según la dosis recomendada por el producto.

En lo referente a la severidad de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*, Morelet), no se hizo ningún control directo. Sin embargo, cada 15 días durante la investigación se cortaron las hojas que presentaron más del 30% del área necrosada.

La corta de hierba se realizó tres veces durante la ejecución del trabajo. Para esta actividad fue necesario usar la máquina manual segadora de hierba. No obstante, en los cuatro primeros meses de establecimiento de las musáceas, se realizó una limpieza en la base de la planta, con un radio aproximado a 50 cm. Posterior a esta limpieza, el tipo de control de las hierbas consistió en acumular la hojarasca de banano en la base de la planta misma.

La regulación de sombra solamente se realizó durante la etapa de establecimiento de las musáceas (finales de mayo e inicio de junio, 2010).

3.5 Método y frecuencia de los registros de datos para las diferentes variables en estudio

Después de la siembra todas las plantas experimentales fueron marcadas con una etiqueta de plástico, para hacer una ubicación inmediata al momento de registrar la información. En algunos casos, se usó cinta adhesiva para ubicar en el tiempo el punto de medición. La toma de datos vegetativos se realizó mensualmente siguiendo un orden de parcela de 8, 25, 50 y 75%.

3.5.1 Variable crecimiento vegetativo delseudotallo en las musáceas

Las variables que conforman el crecimiento vegetativo en este estudio incluyeron: emisión de hoja, área foliar, altura delseudotallo, circunferencia basal a 10cm del nivel del suelo, inserción foliar, descritas a continuación:

Emisión de hojas: al inicio del registro de datos se procedió a marcar con cinta adhesiva la hoja número 1, en los posteriores registros solamente se marcó la hoja más nueva. El número de hojas fue registrado como el valor acumulado a través del tiempo. Para obtener el número de hojas emitidas en cada intervalo de tiempo, se hizo una sustracción del número de hoja a la fecha actual menos el número de hojas de la fecha anterior.

Área foliar: esta variable está formada por la sumatoria del área de las hojas individuales al momento de muestreo. El área de la hoja individual se determinó midiendo la longitud de la hoja multiplicado por la parte más ancha de la hoja, multiplicado por el factor de corrección de 0.80. Se tomó el factor de corrección 0.80, ya que ha sido usado en el trópico americano por Aristizábal (2008) y Dold (2010). En este estudio se consideró hoja verdadera a todas aquellas hojas que presentaron más de 20cm de ancho máximo.

Altura de la planta (cm): se midió desde el nivel del suelo hasta la parte apical de la planta, exactamente donde las vainas de las dos hojas más nuevas forman la letra V.

Circunferencia basal (cm): se midió a la altura de 10cm con respecto al nivel del suelo. En este caso se tomó a 10cm para evitar error de medición, ya que las plantas habían sido recientemente trasplantadas y se podía correr el riesgo de perder el punto de medición, cuando se hacen las respectivas labores culturales. No obstante se tomó en cuenta la experiencia de otros investigadores que han realizado este tipo de medición a 50 y 100cm de alto, con respecto al nivel del suelo (Ver trabajo de Eckstein *et al.* 1998).

Inserción foliar (cm): comprende la longitud entre la vaina de la hoja más vieja y las vainas de las hojas más nuevas. Parte superior donde las vainas de las dos hojas más nuevas forma la letra V, es decir, es la longitud que existe entre la hoja más vieja a la más nueva.

Los registros de las variables se realizaron en promedio cada 30 días entre los meses de junio a octubre 2010.

3.5.2 Medición del intercambio gaseoso en nueve cultivares de musáceas en diferentes gradientes de sombra.

Los parámetros de intercambio gaseoso fueron medidos con el equipo LI-COR 6400XT. La calibración se realizó siguiendo los pasos del manual LI-COR 6400XT versión 6. Las curvas de luz fueron realizadas siguiendo el protocolo LI-COR 6400 XT para C₃, en donde se programó la fuente de luz a niveles de 2000, 1500, 500 250, 120, 60, 40, 20, 10, 0, $\mu\text{moles de fotón/m}^2\text{s}$, con un mínimo tiempo de espera de 120 segundos y un máximo de 200 segundos. La fuente de luz que se usó en el aparato fue del tipo LED 6400 – 18 RGB que describe ondas electromagnéticas de rojo (635 nm), azul (460nm) y verde (522 nm). Este tipo de luz es normal para simular la luz blanca. La temperatura se programó a 25°C, el flujo de aire a 500 $\mu\text{mol/s}$ y el flujo de dióxido de carbono a 400 ppm.

Las curvas de luz fueron realizadas en el mes de septiembre o sea entre 18 a 20 semanas después del trasplante. Para realizar mediciones de luz se tomaron aleatoriamente 3 plantas de cada cultivar en cada parcela. En cada planta se tomó la tercera hoja más nueva, la cual debía de estar libre de daños mecánicos y fitopatológicos. Las diferentes curvas de luz fueron realizadas entre 7:30 am y 2:00 pm. Para realizar el análisis del punto máximo de saturación de luz, se procedió a derivar el primer valor de la tasa de fotosíntesis a un máximo flujo fotónico, el cual fue programado a 2000 $\mu\text{moles de fotón/m}^2\text{s}$. De igual manera para determinar el uso eficiente del agua (UEA), se tomaron los valores de fotosíntesis y transpiración a un flujo máximo de energía. El índice de UEA estuvo determinado por la operación de dividir la fotosíntesis entre la transpiración.

3.5.3 Peso seco de las musáceas

Peso de lámina: para determinar el peso total de los limbos de las hojas, durante el crecimiento de las plantas se hicieron muestreos en tres momentos (junio, julio y septiembre). Los muestreos consistieron en extraer un disco de 19.6cm² de área, aproximadamente, del limbo en la tercera y cuarta hoja más jóvenes de la planta. Posteriormente se metieron a una bolsa plástica y se colocó en un termo con hielo para evitar la desecación durante el traslado al laboratorio. Una vez en el laboratorio, se realizó el pesaje en húmedo y seco, utilizando una balanza electrónica marca Metter Pc 440 con una precisión de +/- 0.0001 grs. Para facilitar el trabajo de manipulación durante el secado se formaron grupos de 5 discos, los cuales se pesaron en conjunto y se metieron en una bolsa de papel y posteriormente fueron llevados al horno a una temperatura de 70 °C a peso constante. El dato registrado fue el promedio de los 5 discos.

Peso de nervadura y peciolo: En las plantas que fueron destinadas a un posterior muestreo destructivo, la colecta del material vegetal húmedo se inició a los 30 días después del trasplante. Para hacer la recolecta del material se hacían inspecciones cada 15 días en cada planta. La colecta del material inició con las brácteas del tallo que se encontraban abiertas o desprendidas del seudotallo. Se colectaron las nervaduras y peciolos de las hojas con más de 30% de área necrosada u hojas que presentaban un amarillamiento total. Para el caso de la

nervadura de la hoja, la nervadura se desprendió de los limbos con el uso de un cuchillo. Una vez colectadas las muestras fueron llevadas al horno para someterlas a desecación a una temperatura de 70°C a peso constante.

Peso seco total en campo: En el momento del muestreo destructivo de la planta, el seudotallo se pesó, utilizando una balanza electrónica marca Kern HCB 50 K 20. Cuando los seudotallos sobrepasaron los 10 kg de peso húmedo, se procedió a hacer muestreo, que consistió en cortar 30cm de longitud de la base, 20cm de la parte media y 30cm de longitud de la parte superior del seudotallo. En término general, en función del peso fresco del seudotallo se pesó entre 45% y 58% del peso total de materia fresca. Con referencia a la longitud del seudotallo se pesó entre 40 y 54%.

Una vez realizado el pesaje, se procedió a fragmentar las sub muestras y muestras de los seudotallos y se dejaron en un invernadero bajo condiciones controladas para un pre secado. Durante ese tiempo que pasaron en el invernadero, las muestras fueron movidas de posición para acelerar la evaporación de agua, posteriormente se procedió a meterlas al horno a una temperatura de 70°C a peso constante. El peso constante se determinó haciendo muestreo del 10% de las muestras que se encontraban en el horno, cuando este 10% llegaba a un peso constante, se pesaban las otras muestras. Para calcular el peso seco del área foliar de los diferentes cultivares de musáceas se usó la relación del peso seco de los discos y se extrapoló al área de una hoja, cuya área se derivó de multiplicar largo por la parte más ancha de la hoja por 0,80 como factor de corrección.

3.6 Registros de datos agroclimáticos en el área de investigación

3.6.1 Temperatura y humedad relativa en las parcelas

Las mediciones de temperatura y humedad relativa se realizaron desde el 05 de mayo al 08 de octubre del año 2010. Estas mediciones fueron realizadas con termómetros estacionarios Marca Tinytag TPG 4500 plus 2, con capacidad de medición entre -25 a + 80 °C y de 0 a 100% para la humedad relativa. Por cada parcela se ubicaron aleatoriamente cuatro termómetros colocados a una altura determinada del suelo. La altura de ubicación de los termómetros estuvo en función de la altura del punto apical de las musáceas. Esto significó que a medida que las plantas de musáceas aumentaban en altura, los sensores se movieron hasta tener un nivel con el punto apical de las plantas. Los sensores fueron programados a registrar la temperatura media y humedad relativa media cada 15 minutos. Estos sensores tenían una capacidad de almacenar los registros durante 35 días consecutivos, razón por la cual la descarga de los datos se realizó cada 30 días. Para la descripción del ambiente climático (T, HR) de las diferentes parcelas, se promediaron los valores registrados de los sensores por días, cuyos promedios son reportados como promedio días, lo que implica que los valores mínimos y máximos son valores promedios para una determinada fecha de registro.

3.6.2 Precipitación

Los datos de precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica del CATIE. La información sobre el tiempo de registro de la precipitación se encuentra disponible en línea en

la página web del CATIE. En este caso la información fue guardada en sistema electrónico. Los datos de precipitación promedio mensual de la estación de CATIE en el intervalo de tiempo desde 1942 al 2009 fueron interpretados a través de promedios mensuales. Los promedios mensuales de 67 años fueron comparados con los valores de precipitación del año 2010, a través de una prueba t student (0.05) bilateral.

3.6.3 Análisis químico del suelo

Las muestras fueron colectadas aleatoriamente en el mes de abril 2010. Por cada parcela se muestrearon 10 puntos. Cada punto tuvo una dimensión de 30x30x30cm y en la pared de cada calicata, a 15 cm de profundidad, se colectó la muestra de suelo. Todas las sub muestras de suelo colectadas fueron mezcladas para obtener una muestra compuesta. El análisis químico y físico fue realizado en el Laboratorio de suelo del CATIE.

3.6.4 Humedad del suelo (%)

La determinación de la humedad del suelo en las cuatros diferentes parcelas se realizó con el aparato portátil electrónico medidor de la humedad del suelo TDR (Time Domain Reflectometry). La determinación del porcentaje de humedad del suelo se realizó en época de lluvia (junio a septiembre del año 2010). En cada parcela se referenciaron 30 puntos de muestreo en donde se registraron datos cada 15 días. Los puntos de muestreo fueron ubicados en las plantas de musáceas de posterior muestreo destructivo. En estos puntos también se midió la proyección radio foliar (PRF), cuyo método fue definido arbitrariamente y consistió en dos pasos: Primeramente se ubicó la proyección perpendicular de la punta de las hojas de la planta de musácea, hacia el suelo, lo que permitió obtener la proyección del radio de la hoja. Posteriormente, se definió un segmento de muestreo que comprendió entre longitud total del radio menos 20 centímetros de la base de la planta. En este segmento se tomó un punto al azar y se insertaron las varillas del TDR a 20cm de profundidad del suelo. Cuando no se logró insertar los 20cm de la longitud de las varillas se prosiguió al segundo paso, que consistió en ubicar un ángulo de 90° con respecto al primer segmento de muestreo e insertar nuevamente las varillas. Éste método se repitió hasta lograr la medición del valor en el punto deseado.

3.6.5 Muestreo del índice del área foliar (IAF) del estrato arbóreo en tres parcelas

El muestreo del IAF del estrato arbóreo se realizó en dos momentos (mayo y septiembre del 2010). La medición del mes de mayo se realizó entre las 8 a 10 horas en un día con nubosidad. La segunda medición se realizó entre las 6 a 8 hrs en un día despejado. En ambos caso se usó el equipo IAF 2200 Plant Canopy Analyzer. Cuyo aparato determina las lecturas de IAF y Difusión de luz, en cinco diferentes ángulos. El aparato hace las lecturas en función de la relación entre luz sobre el estrato (lectura A) y luz bajo el estrato (lectura B).

En el caso de este estudio, la obtención de la lectura A del aparato se realizó en una parcela de cielo abierto cerca al área de estudio. Además, sobre el lente óptico del aparato se usó una capa con un ángulo plano de 270° de visibilidad, para evitar la interferencia del estrato

arbóreo en la toma de las lecturas A. Los datos analizados se hicieron en función del promedio de los cinco ángulos.

3.7 Documentación y análisis estadísticos de los datos colectados

Todos los datos colectados en campo y en laboratorio fueron registrados con lápiz de grafito (0.7mm) sobre papel reciclado con formato A4. Posteriormente los datos fueron digitados en el programa de cálculo Excel para Windows 2007. Todos los análisis estadísticos y descriptivos fueron realizados a través del programa estadístico INFOSTAT, versión 2010. El análisis de los datos fue realizado bajo el supuesto de observaciones de tratamiento no estructurado. Por lo que se usó modelos de regresión lineal con variables auxiliares.

3.8 Análisis estadístico

El modelo matemático descrito a continuación fue basado en lo citado por Di Rienzo *et al.* (2008) e Infostat (2008)

Modelo matemático postulado para las observaciones *Ecuación 2*

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{ parc} + \beta_2 D1 + \beta_3 D2 + \beta_4 D1 * \text{ parc} + \beta_5 D2 * \text{ parc} + \varepsilon$$

Donde, Y representa la variable dependiente

β representa los parámetros del modelo,

parc representa la variable independiente, en este caso las parcelas como variable métrica sin unidad de medidas,

D1, D2... representan las variables auxiliares para los cultivos o grupos de cultivos, las cuales toman valores dicotómicos de 1 ó 0.

ε , variación aleatoria que no es explicada por el modelo.

Este mismo modelo matemático fue usado para todas las variables usadas en este estudio. Con la excepción del número de parámetros puede variar en función del número de variables regresoras que se emplea en el modelo declarado en el programa estadístico INFOSTAT.

Para aumentar el valor de R^2 ajustado, se probó hacer agrupaciones conforme las diferencias estadísticas del intercepto o pendiente. De esta manera, se formaron asociaciones dentro de cada grupo genómico. Cuyas agrupaciones se pueden observar como la formación de dos o más cultivos dentro del mismo grupo genómico. Para elegir el modelo más adecuado se tomó como criterio el valor de mayor ajuste con menos variables regresoras. En algunos casos se tomó en consideración el valor del ECMP reportado en la salida del programa estadístico.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Características agroclimáticas de las parcelas experimentales

4.1.1.1 Precipitación y energía solar

La curva de precipitación del promedio de 67 años de la estación meteorológica en CATIE mostró una distribución bimodal, siendo marzo y diciembre los meses de menor y mayor precipitación respectivamente con 87.7 y 304 mm. Bajo esta circunstancia la precipitación del año 2010 (Figura 1), no fue diferente estadísticamente según prueba t student ($p = 0.2913$).

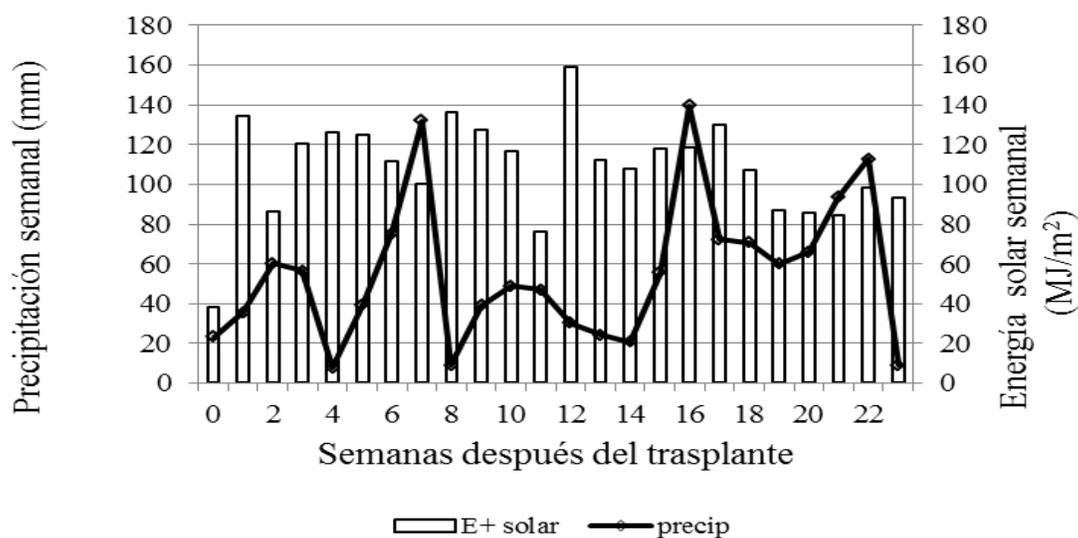


Figura 1: Precipitación (mm) y radiación solar (MJ/m^2) descritos por semana desde Mayo hasta la primera semana de octubre 2010, en la estación meteorológica del CATIE.

Durante el mes de mayo (semanas 0 a 4), mes del trasplante, solamente se presentaron 7 días sin precipitación. A nivel general, los valores medios diarios climáticos del mes de mayo fueron 5.9 mm de precipitación, $17.0 MJ/m^2$ flujo de energía y $23.3^\circ C$ temperatura del aire.

En el período de mayo-setiembre, hubo una precipitación de 1280 mm y una radiación de $2459.3 MJ/m^2$ con un promedio de 256 mm/mes y $491.86 MJ \cdot m^2/mes$. En el tiempo de ejecución del estudio, solamente se presentaron 6 semanas con valores de precipitación menores a 30 mm/semana. No obstante, hubieron semanas que presentaron valores mayores de 90 mm/semana (Figura 1).

4.1.1.2 Temperatura (°C) y humedad relativa (%), en cuatro diferentes parcelas experimentales durante la ejecución del estudio

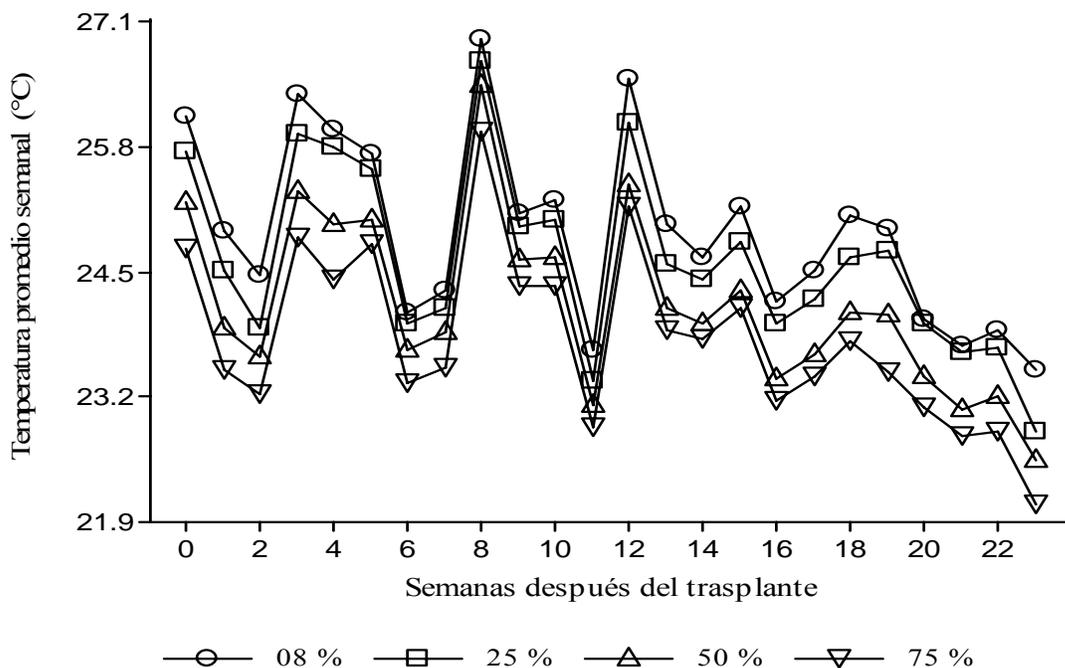


Figura 2: Temperatura (°C) registrada por semana desde mayo hasta la primera semana de octubre 2010, en cada parcela.

A nivel general, durante la ejecución del experimento los valores de la temperatura media semanal fueron de 24.9, 24.7, 24.2 y 23.5 para las respectivas parcelas (8, 25, 50, 75 %). El mayor promedio semanal de la temperatura se observó en la parcela 8% con un valor de 26.9°C a la 8 sdt, (28 de junio a 4 de julio) y el menor valor se encontró en la parcela 75% con 22.1°C a la 21 sdt, (27 de septiembre al 3 octubre). Sin embargo, durante el intervalo del estudio, el nivel de promedio semana en la parcela 8% fue mayor que la parcela 75% con una diferencia de 1.4°C. En el intervalo de tiempo de la semana 3 y 4 sdt, se realizó la regulación de sombra en las parcelas 25, 50 ,75%. Sin embargo, la tendencia de la temperatura describe una semejanza para las cuatro parcelas (Figura 2).

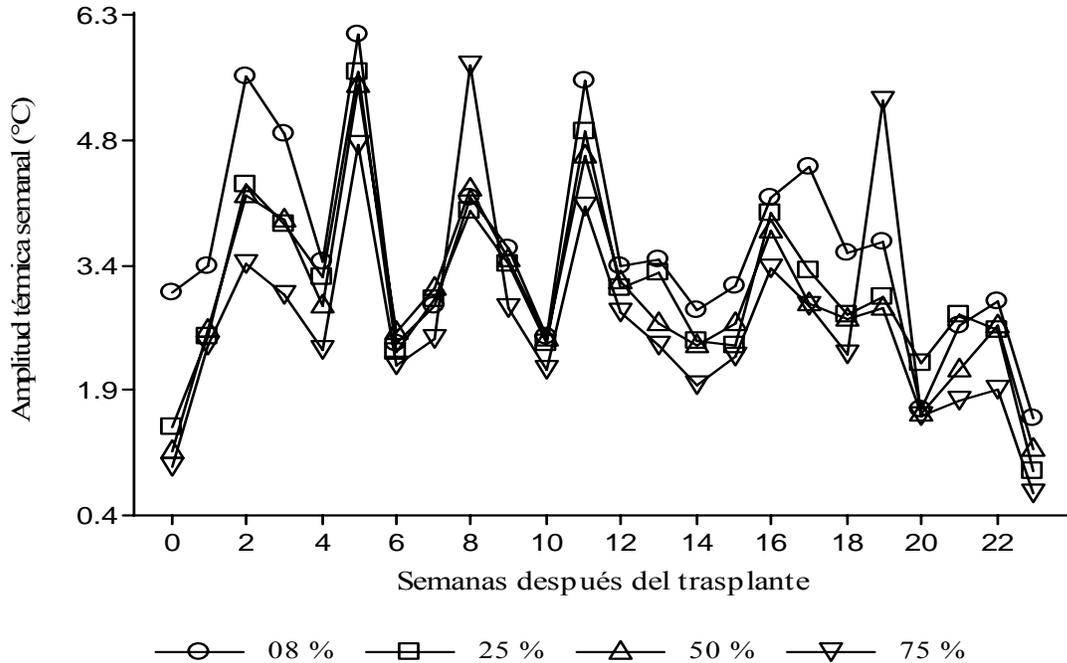


Figura 3. Amplitud térmica (°C), registradas por semana desde mayo hasta la primera semana de octubre 2010, en cada parcela.

La amplitud térmica semanal describe una fluctuación semejante para las cuatro parcelas en estudio. Los valores medios semanales, para el periodo de estudio son 3.5, 3.1, 3.0, 2.7, para las respectivas parcelas (8, 25, 50 y 75%, Figura 3). Los valores medios del estudio son menores a los reportados por Barradas *et al.* (1986), cuyos autores reportan la amplitud térmica de un año de estudio entre 15.2°C para café con sombra y 8.5°C café sin sombra. El estudio fue ejecutado 19°31' de latitud norte a 1225 msnm, con una precipitación promedio anual de 1640 mm.

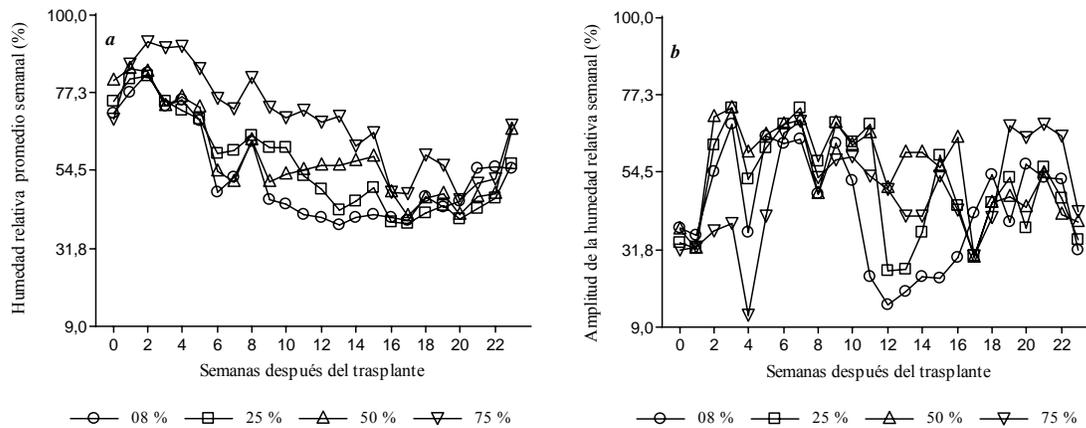


Figura 4. Humedad relativa y amplitud de la humedad relativa (%), registradas por semana desde mayo hasta la primera semana de octubre 2010, en cada parcela.

Los valores promedio semanales de la humedad relativa en las parcelas de 8, 25, 50 y 75% de sombra, fueron de 53 ± 14 , 56 ± 18 , 60 ± 13 y 69 ± 14 respectivamente (Figura 4 a). El mayor promedio se observa en la parcela 75% en la segunda semana después del trasplante (inicio de mayo) con un valor de 92%. No obstante, en la parcela 8% se registra el menor promedio semanal a las 13 semanas después del trasplante (agosto), cuyo valor fue 38%. Por otra parte la amplitud de la humedad relativa muestra un patrón no muy similar a la HR. En donde se describen valores medios de 44, 50, 55, 48%, para las parcelas 8, 25, 50 y 75% (Figura 4 b). Estos promedios indican que en las parcelas 25 y 50% se presenta una mayor amplitud de la HR.

4.1.1.3 Disponibilidad de agua para las musáceas

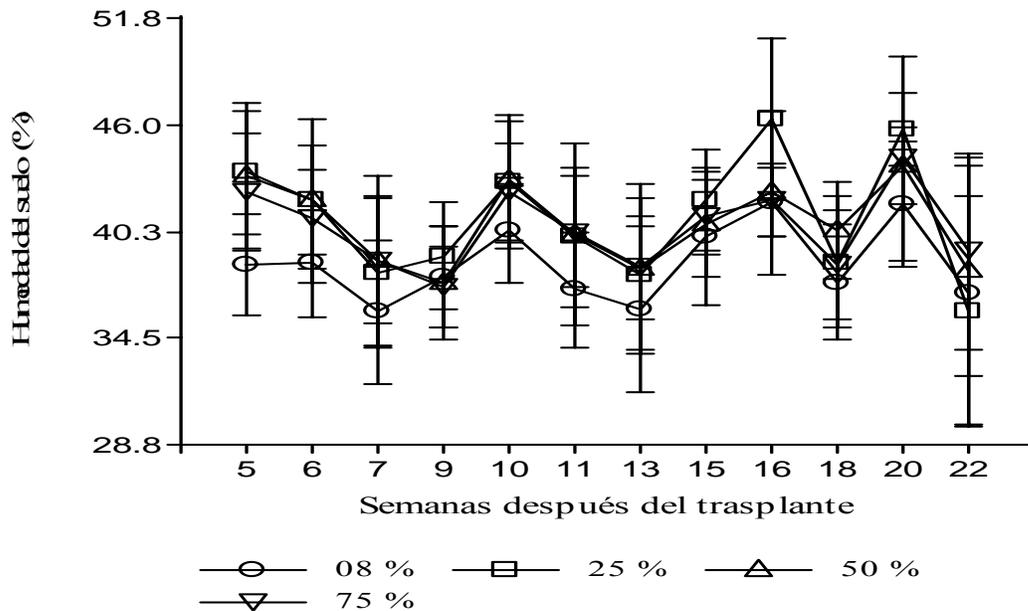


Figura 5. Muestreo de la disponibilidad de agua (%) para musáceas bajo un gradiente de sombra durante la ejecución del estudio.

De manera general, durante el período de estudio (época de invierno), no se presentó un déficit de agua para las musáceas evaluadas. El promedio general durante el estudio mostró valores de 38, 40.3, 40.3 y 40% de humedad en el suelo para las parcelas 8, 25, 50, 75%. Según la guía de humedad del suelo citada en Spectrum Technologis Inc. (2009) para un suelo franco arcilloso, las parcelas mantuvieron un nivel de agua a capacidad de campo (aproximadamente a 34%). No obstante, se presentaron algunos momentos con valores menores a 34% de humedad en el suelo, principalmente en las semanas 7, 13 y 22 (Figura5). A nivel de parcelas, se observó que la humedad del suelo varía en función del nivel de sombra según el tiempo de muestreo. Esto implica que con respecto al inicio del estudio (semana 5), la disponibilidad del agua para las musáceas no fue igual estadísticamente para las cuatro parcelas. Al inicio del estudio se observó que la parcela 8% de sombra, presentó un valor de 40% de humedad en el suelo, mientras que el valor en la parcela 75% de sombra fue de 43%. Posterior a la semana 5 se observó que la humedad del suelo en la parcela 75% no se redujo estadísticamente ($p > 0.0592$).

Sin embargo, en las semanas 9 y 15 el valor de la humedad en la parcela 75%, fue estadísticamente diferente al valor de la semana 6 después del trasplante de las musáceas, con una explicación de la variabilidad de un 21% (Anexo 1).

4.1.1.4 Contenido de nutrientes del suelo en diferentes parcelas experimentales

Cuadro 5. Resultados del análisis químico y físico de las parcelas experimentales

Parcelas	Textura	pH (H ₂ O)	Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	C.O (%)
			-----cmol(+)/l-----	-----mg/l-----								
8%	F A	4.63	3.74	3	0.91	0.39	31.6	25	1.9	22.5	193	2.83
25%	F A	4.61	2.53	3.67	0.96	0.51	36.5	35.2	3.7	35.3	256	3.31
50%	F A	4.68	2.42	3.79	1.03	0.46	41.5	32.4	2.7	26	219	3.24
75%	F A	4.57	3.21	3.5	0.9	0.58	61.7	36.5	2.6	28.8	303	3.21
Niveles críticos (Bertsch1995)			0.5	4	1	0.2	10	1	3	5	10	

F A; Franco Arcilloso

En la revisión de literatura no se logró encontrar los requerimientos nutricionales de las musáceas en la etapa de crecimiento. Sin embargo basado en lo citado por Bertsch (2003), los requerimientos del banano son: 253, 11 y 82 kg/ha de K, P, Ca respectivamente, por lo tanto se considera que la cantidad de K, P en el suelo en las cuatro parcelas, no fue una limitante ya que con los valores reportados se obtendrían la cantidad de: 378.3, 65.6, 1396 y 228 kg/ha de K, P, Ca, Mg (cuadro 5). Por otra parte, con base en los resultados de acidez, las cuatro parcelas presentan un valor crítico. Esto probablemente aumenta la posibilidad de tener hierro soluble.

4.1.1.5 Características del estrato arbóreo de las parcelas experimentales

En el momento del trasplante, los datos de IAF y porcentaje de sombra indicaron un exceso de sombra en la parcela de 25% y heterogeneidad en la parcela 50%. En el segundo muestreo a finales de setiembre, se observó una diferenciación de los niveles conforme los tratamientos (Cuadros 6 y7).

Cuadro 6. Resultados del muestreo del IAF estrato arbóreo en dos diferentes momentos

Parcelas	Muestreo del 10 mayo 2010					Muestreo del 29 septiembre 2010				
	n	Media	D.E.	Mín	Máx	n	Media	D.E.	Mín	Máx
25%	72	0.75	0.17	0.49	1.29	72	0.37	0.32	0	1.12
50%	71	0.63	0.46	0	1.38	72	0.85	0.41	0	1.93
75%	72	2.06	0.28	1.17	2.57	72	1.88	0.19	1.49	2.27

Mín = mínimo, Máx= máximo

De manera general, las parcelas 25, 50, 75% mantuvieron en promedio un IAF del estrato arbóreo de 0.56, 0.74, 1.97, respectivamente. En términos porcentuales, la cobertura del estrato forestal de las parcelas 25, 50 y 75%, fue de 17, 23, 60%, respectivamente. Sin

embargo, ha de tomarse en cuenta que a finales del mes de mayo e inicio de junio, se realizó una regulación de sombra, lo que implica que el índice de área foliar (IAF) fue reducido.

Cuadro 7. Muestreo del porcentaje de sombra según el equipo IAF 2200 en tres parcelas experimentales

Parcela	Muestreo del 10 mayo 2010					Muestreo del 20 septiembre 2010				
	n	Media	D.E.	Mín	Máx	n	Media	D.E.	Mín	Máx
25%	72	44.29	7.14	31.4	63.6	72	22.19	18.37	0	58.7
50%	71	34.34	24.2	0	66.5	72	44.74	20.41	0	75.5
75%	72	79.29	4.99	59.6	87.1	72	76.76	3.65	68	83

Mín = mínimo, Máx= máximo

Dado que en el presente estudio se trabajó en parcelas con sombra natural, es de esperarse que dicha sombra no es constante y puede variar dentro de la misma parcela, así como se observa en el cuadro 7. La parcela de 25% en el mes de mayo en realidad tenía un porcentaje de sombra de entre 44 y 65%. Posterior a la regulación de sombra en septiembre, la parcela de 25% tenía valores de entre 22 y 50 % de sombra, no obstante, se observó al menos un punto descubierto, con un área aproximada de 7m². De igual forma, la parcela 50% presentó cierta heterogeneidad en la distribución de la sombra. Esta heterogeneidad se puede observar a través de valores mínimos y máximos, los cuales describen espacios sin y con mucha sombra. A pesar de la variabilidad de la sombra en las parcelas de 25 y 50%, la parcela con 75% fue muy homogénea. Es importante recalcar que la diferencia en cuanto a sombra se mantuvo entre las parcelas.

4.1.2 Efecto de la sombra sobre el crecimiento vegetativo de diferentes cultivares de musáceas establecidos en sistema agroforestal

4.1.2.1 Emisión foliar (número de hojas)

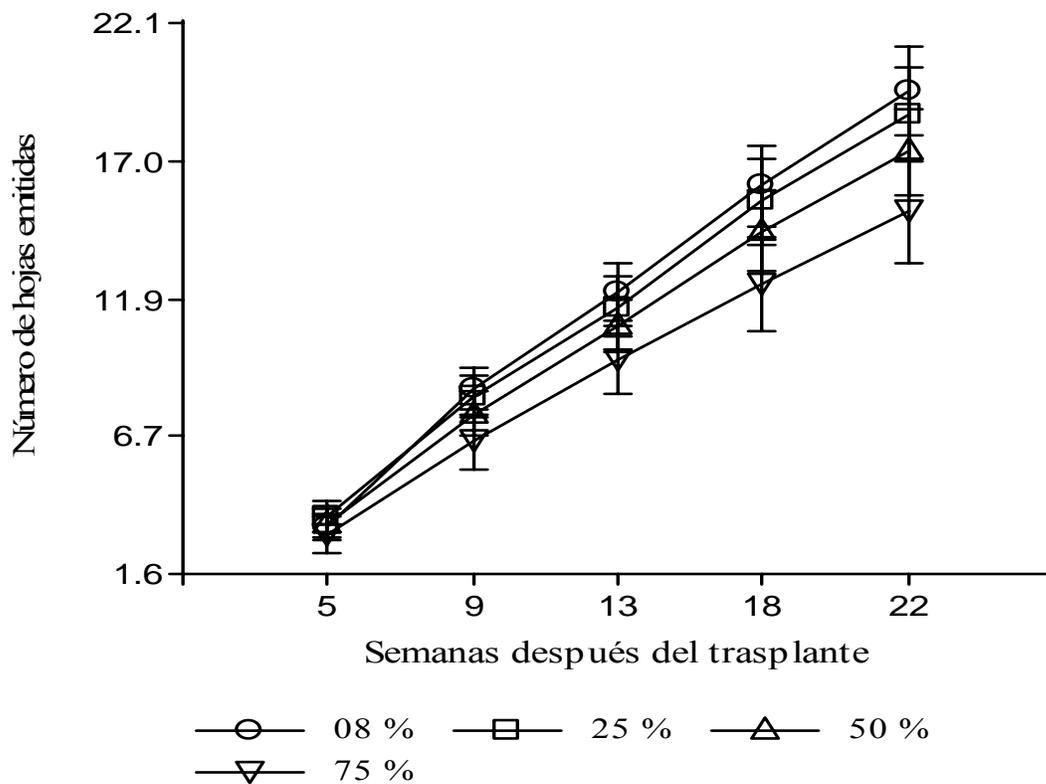


Figura 6. Promedio de emisión foliar por planta de musáceas entre la semana 5 y semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

En el número de hojas emitidas en las musáceas a través del tiempo se describe un aumento lineal. A manera general, se observa una tasa promedio de 0.998, 0.929, 0.8611, 0.7482 hoja/semana, para las parcelas 8, 25, 50, 75%, respectivamente (Figura 6). Este incremento tiene relevancia a partir de la novena semana, con un valor de la pendiente de -0.0234, siendo estadísticamente significativa, $p < 0.0001$ (Ver anexo 2, inciso s).

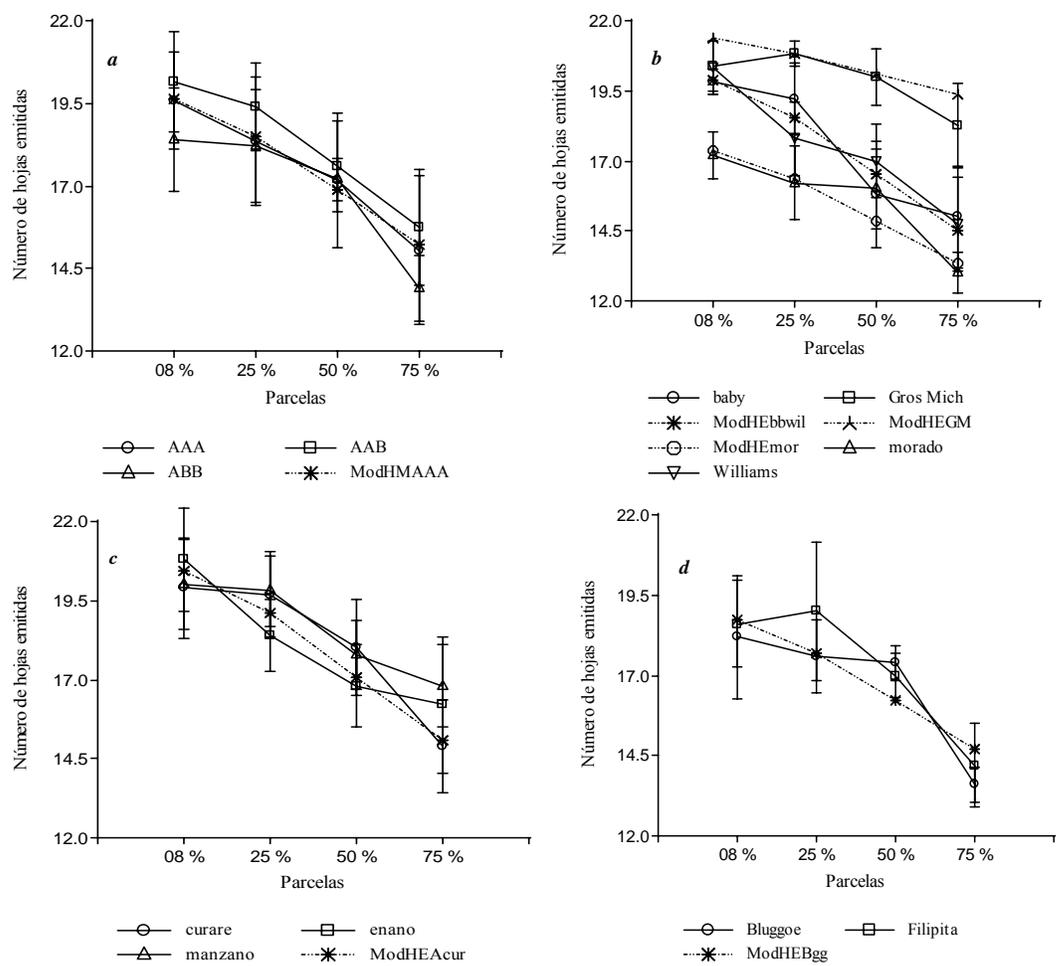


Figura 7. Emisión foliar por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándares. ModHMAAA = recta modelada a nivel de genoma AAA. ModHEGM = recta modelada para el cultivar Gros Michel. ModHEbbwil = recta modelada para la agrupación Baby y Williams. ModHEAcur = recta modelada para el cultivar Curaré. ModHEBgg = recta modelada para el cultivar Bluggoe.

A nivel de grupo genómico, a las 22 semanas después del trasplante, los tres grupos genómicos presentan una tendencia negativa, en donde a mayor nivel de sombra el número de hojas emitidas tiende a ser reducido (Figura 7a). Esta tendencia muestra ser estadísticamente igual para los grupos genómicos ($p > 0.876$), con una explicación de la variabilidad de un 51% (Anexo 2, inciso a).

Dentro del grupo genómico AAA, los cultivares Baby, Gros Michel, Morado y Williams muestran una respuesta diferente a la sombra (Figura 7b). En este caso, el cultivar Gros Michel presenta una respuesta a la sombra a través de la pendiente de -0.027 , ($p=0.0073$). Sin embargo, los cultivares Williams, Morado y Baby muestran una respuesta estadísticamente diferente a la del cultivar Gros Michel con $p < 0.0497$, con un valor explicativo de un 73%. Este mismo valor explicativo se logró cuando se realizó la agrupación de los cultivares Baby más Williams, Morado, Gros Michel. De igual manera, los resultados de esta agrupación muestran que la asociación del cultivar Baby más Williams no cambia el valor de la respuesta a la sombra, $p=0.0017$ (Anexo2, inciso b, b.2).

Los cultivares dentro del grupo genómico AAB (Curaré, Plátano enano y Manzano), mostraron una reducción en la emisión de las hojas a medida que incrementa el nivel de sombra. Esta respuesta a la sombra se observa a través de la pendiente con valor de -0.008 ($p < 0.0001$), siendo estadísticamente igual para los cultivares Manzano y Plátano enano, con una explicación de la variabilidad de un 57% (Anexo 2, inciso c).

Por último, los cultivares del grupo genómico ABB (Bluggoe y Filipita) muestran una respuesta a la sombra, en donde a mayor nivel de sombra el número de hojas emitidas tiende a disminuir (Figura 7, d). Esta tendencia se puede observar a través del sentido y magnitud la pendiente, cuyo valor corresponde a -0.06 ($p < 0.0001$), con una explicación de la variabilidad de 57% (Anexo 2 inciso d).

4.1.2.2 Área foliar (m^2) por planta

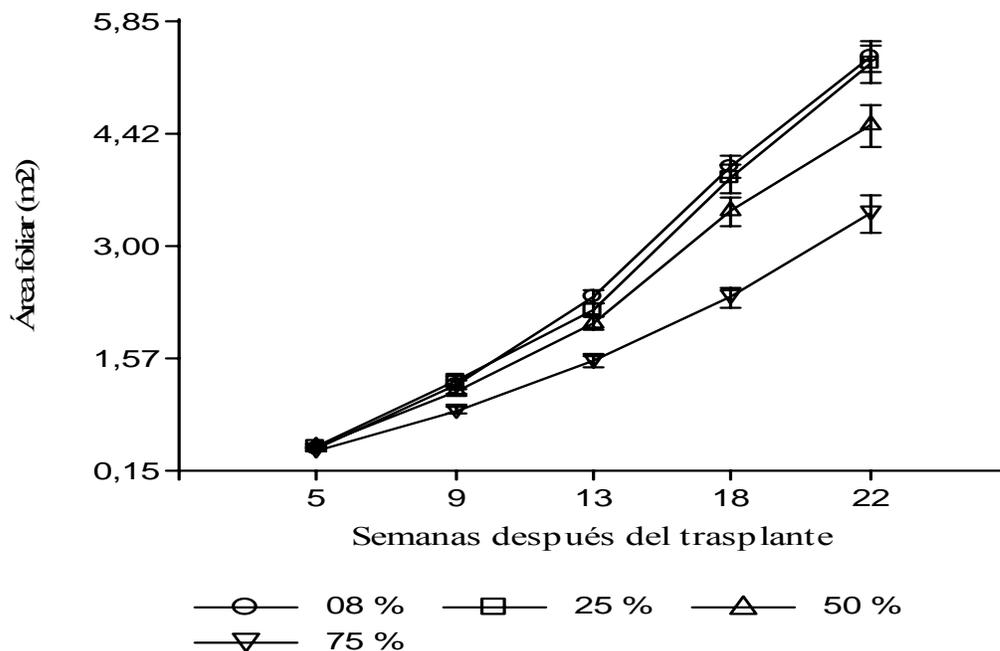


Figura 8. Promedio del área foliar por planta de musáceas entre la semana 5 y la semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar.

De manera general, se observa que el área foliar de las musáceas tiende a aumentar en el tiempo de 0.42 a $5.39m^2$ para la parcela 8% y de 0.41 a $3.41 m^2$ para la parcela 75%. Un incremento en el nivel de sombra significó una disminución del área foliar a partir de la segunda fecha de medición, es decir, a partir de la semana 9 (Figura 8). El efecto de la sombra se puede describir a través de la pendiente en la semana 13 después del trasplante con un valor de -0.01 y con un $p < 0.0019$ (Anexo 3, inciso s).

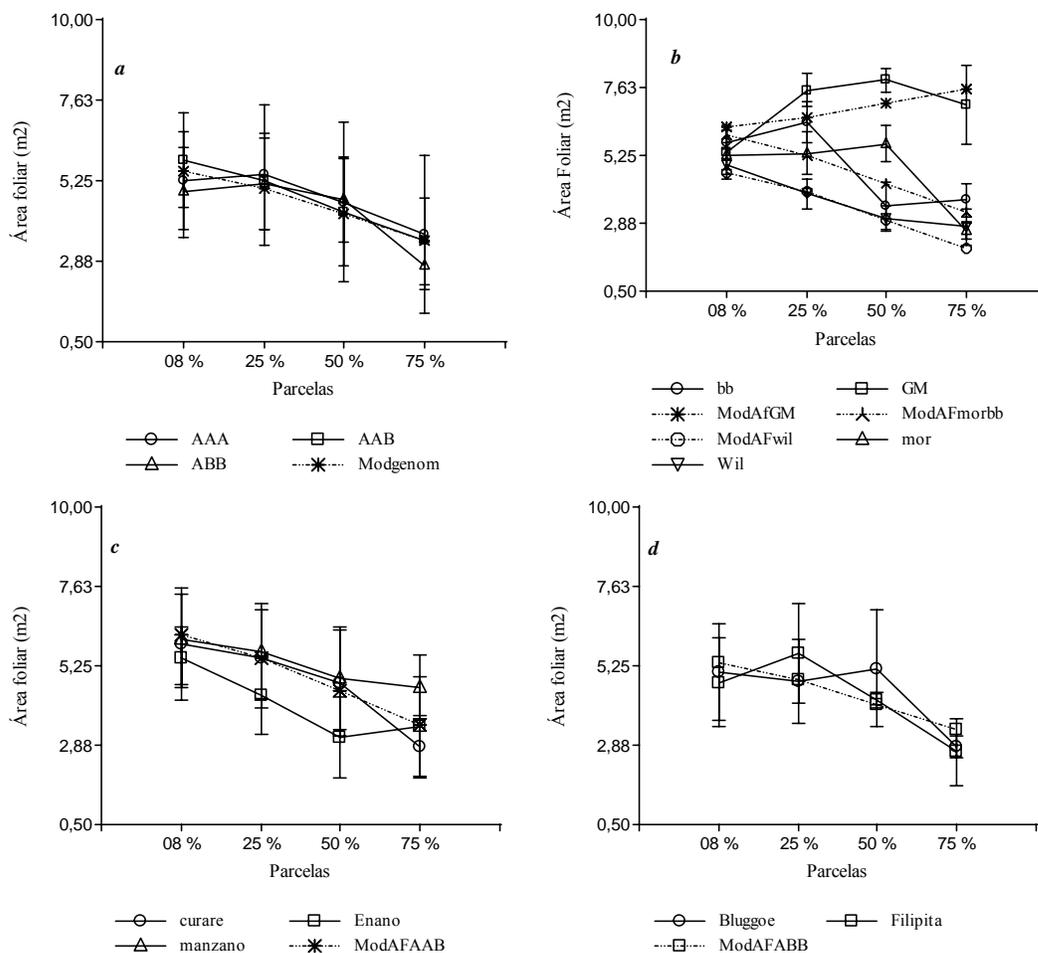


Figura 9. Área foliar por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar. Modgenom = recta modelada para el genoma AAA. ModAFGM = recta modelada para el cultivar Gros Michel. ModAFwil = recta modelada para el cultivar Williams. ModAFmorbb = recta modelada para la agrupación Morado y Baby. ModAFAAB = recta modelada para el cultivar Curaré grupo AAB. ModAFABB = recta modelada para el cultivar Bluggoe grupo ABB.

A nivel de grupo genómico, a las 22 semanas después del trasplante, los tres grupos genómicos formados presentan una tendencia negativa, en donde a mayor nivel de sombra el área foliar tiende a disminuir (Figura 9 a). Esta disminución es estadísticamente igual para los grupos genómicos formados y se puede observar a través de la pendiente con valor de -0.003, (p 0.0003) con una explicación de la variabilidad de un 16% (Anexo 3, inciso a).

Dentro de los grupos genómicos, en el grupo AAA (Baby, Gros Michel, Morado y Williams), los cultivares muestran diferentes respuesta a la sombra (Figura 9 b). En este caso, el cultivar Gros Michel no muestra una respuesta a la sombra. Esto se puede observar a través del valor de la pendiente de 0.02 (p = 0.1337). No obstante, en los cultivares Baby, Morado, Williams, se encontró una respuesta a la sombra (p <0.003), con una explicación de un 42%. Sin embargo, al realizar la asociación de cultivares que presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto al cultivar Gros Michel, los resultados muestran que en el análisis

agrupado los cultivares Baby y Morado continúan mostrando una respuesta a la sombra estadísticamente diferente, ($p < 0.003$), con un ajuste para la recta de predicción de un 43% (Anexo 3, inciso b.b.1).

En el caso del grupo genómico AAB (Curaré, Plátano enano y Manzano, Figura 9 c), todos los cultivares mostraron una respuesta negativa a la sombra, es decir, a mayor sombra, menos área foliar. La pendiente del cultivar Curaré está descrita por un valor y sentido de -0.04 ($p < 0.001$), con una variabilidad que explica un 35% (Anexo 3, inciso c).

El grupo genómico ABB, formado por los cultivares Bluggoe y Filipita, muestra también una respuesta a la sombra, en donde a mayor nivel de sombra el área foliar tiende a disminuir (Figura 9 d). La respuesta a la sombra se puede observar a través de la inclinación de la recta del cultivar Bluggoe con un valor de -0.003 ($p < 0.0161$, con una explicación de la variabilidad de un 25% (Anexo 3, inciso c).

4.1.2.3 Altura del seudotallo (m)

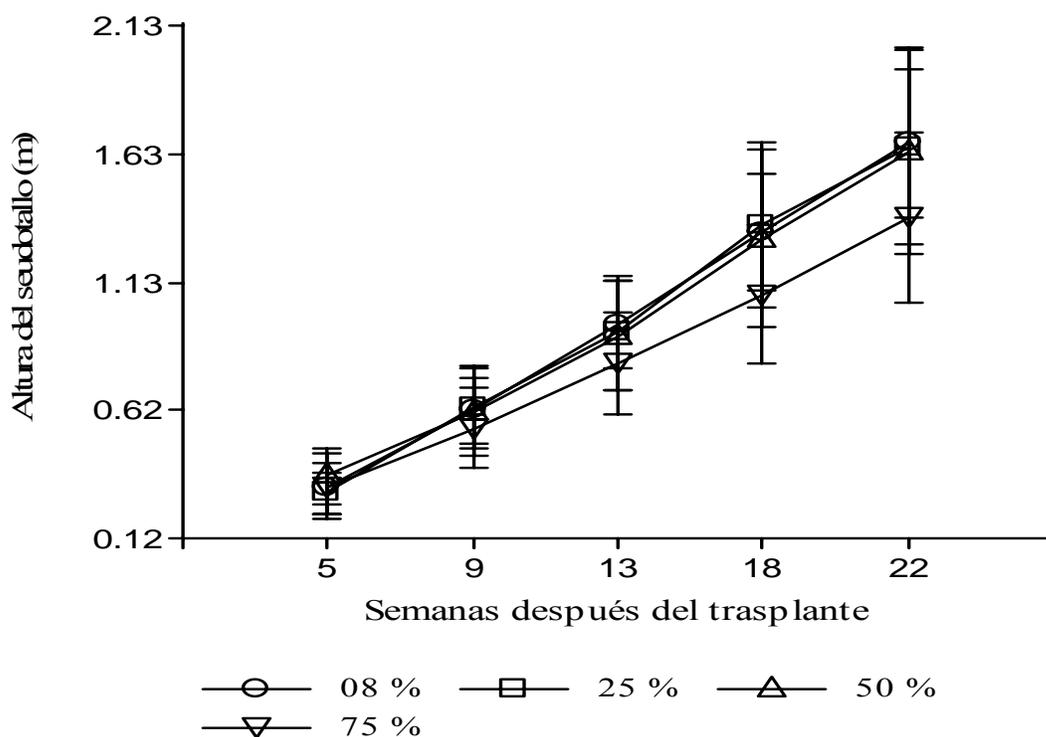


Figura 10. Promedio de altura de la planta de musáceas entre la semana 5 y semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar.

La altura del seudotallo para todas las variedades evaluadas incrementó de forma lineal con el tiempo. De manera general, se describe una tasa promedio de 0.068, 0.068, 0.065, 0.053 m/semana para las parcelas 8, 25, 50, 75%, respectivamente (Figura 10). Al igual que la emisión de hojas y área foliar, la altura fue afectada por la sombra en los diferentes cultivares de musáceas. El efecto de la sombra sobre las musáceas fue más notorio a partir de la semana

10 después del trasplante, donde se observó una pendiente de $-0,0025$ con $p < 0,0045$ (Anexo 4, inciso s).

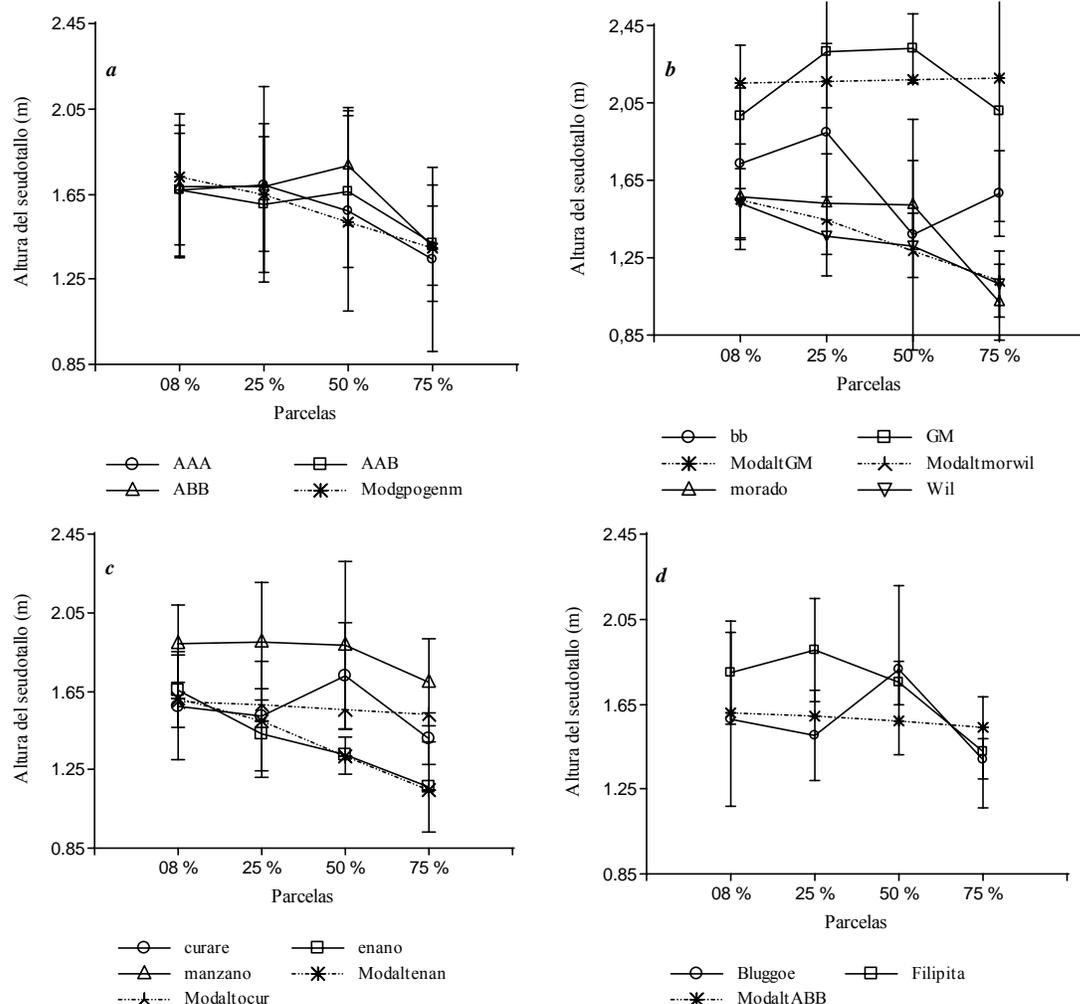


Figura 11. Altura de la planta por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8%, 25%, 50%, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándares. Modgpogenm = recta modela para el genoma AAA. ModaltGM = recta modelada para el cultivar Gros Michel. Modaltmorwil = recta modelada para la agrupación Morado Williams. Modaltocur = recta modelada para el cultivar Curaré. ModaltABB = recta modelada para el cultivar Bluggoe (ABB).

A nivel de grupo genómico, a las 22 semanas después del trasplante, los tres grupos genómicos formados presentan una tendencia negativa con respecto al nivel de sombra (Figura 11, a) con una disminución en la altura medida que incrementa el nivel de sombra con una pendiente de -0.005 ($p = 0.0007$), con una explicación de la variabilidad de un 6% (Anexo 4, inciso a).

Dentro del grupo genómico AAA (Baby, Gros Michel, Morado y Williams) el cultivar Morado presenta una tendencia de reducir la altura delseudotallo a medida que se aumenta el nivel de sombra (Figura 11, b). Los cultivares Baby, Gros Michel y Williams no muestran una respuesta a la sombra ($p > 0.0608$). No obstante, el cultivar Morado describe una respuesta en

donde al aumentar el nivel de sombra la altura se reduce de una manera estadísticamente significativa diferente al cultivar Gros Michel ($p=0.0319$), con una explicación de la variabilidad de un 58%. Éste mismo valor de ajuste se mantiene aún con la agrupación de los cultivares Morado mas Williams (Anexo 4, inciso b. b.1).

Dentro del grupo genómico AAB (Curaré, Plátano enano y Manzano) (Figura 11 c), solamente el cultivar Plátano enano muestra una respuesta a la sombra, con una pendiente de -0.007 ($p = 0.0437$). Siendo diferente estadísticamente a la pendiente del cultivar Curaré, con una explicación de la variabilidad de un 35% (Anexo 4, inciso c).

Por último, los cultivares del grupo genómico ABB (Bluggoe y Filipita) (Figura 11 d) no muestran una respuesta a la sombra. Esto se refleja en el valor de la pendiente del cultivar Bluggoe de -0.001 ($p=0.6381$) con una explicación de la variabilidad de un 11% (Anexo 4, inciso d).

4.1.2.4 Circunferencia basal (m)

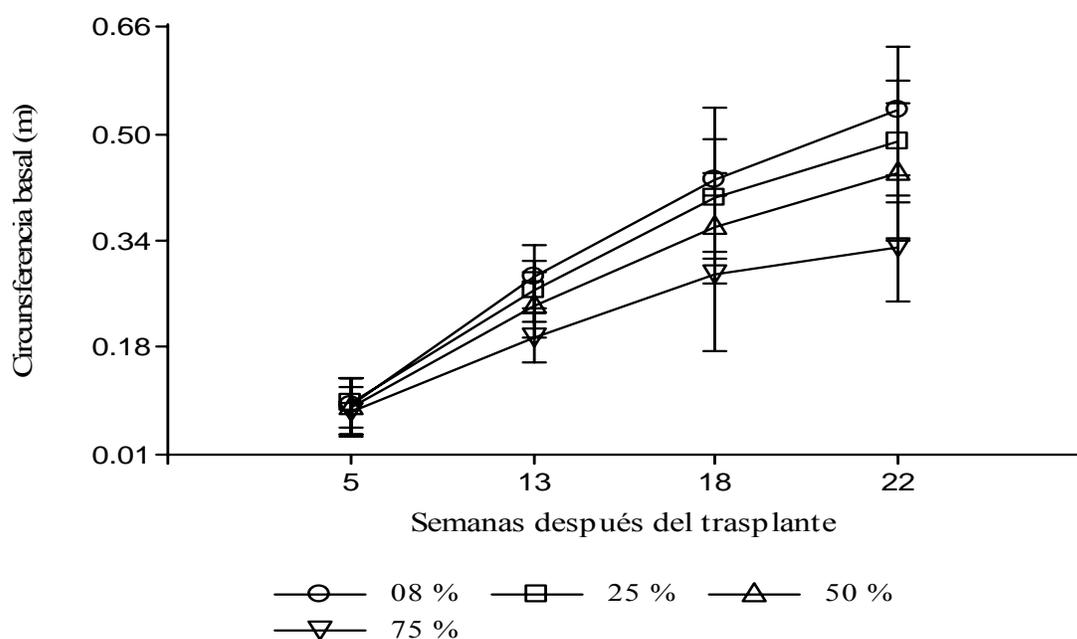


Figura 12. Promedio de la circunferencia basal por planta de musáceas entre la semana 5 y la semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar.

La circunferencia basal delseudotallo incrementó de forma lineal a través del tiempo. De manera general, se describe una tasa promedio de 0.028, 0.022, 0.017, 0.011 m/semana, para las parcelas 8, 25, 50, 75%, respectivamente (Figura 12). La disminución de la circunferencia basal tiene relevancia a partir de la semana 13 después del trasplante, con un valor de la pendiente de -0.0020 , con $p < 0.0001$ (Anexo 5, inciso s).

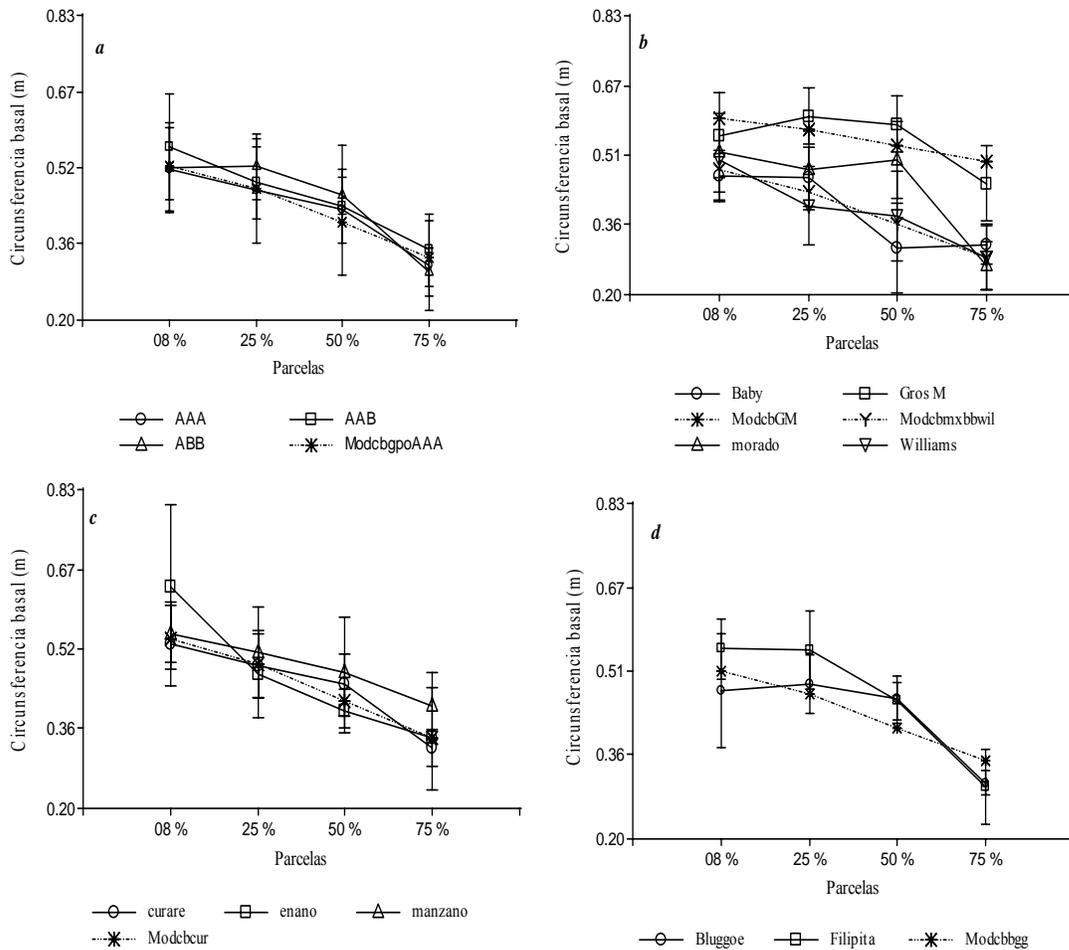


Figura 13. Circunferencia basal por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar. Modcbgpo AAA = recta modelada a nivel de genoma AAA. ModcbGM = recta modelada para el cultivar Gros Michel. Modcbmxbwil = recta modelada para la agrupación Baby y Williams. Modcbcur = recta modelada para el cultivar Curaré. Modcbbgg = recta modelada para el cultivar Bluggoe.

A nivel de grupo genómico a las 22 semanas después del trasplante, los tres grupos genómicos formados presentan una tendencia negativa con respecto al nivel de sombra, donde a mayor nivel de sombra, la circunferencia basal delseudotallo tiende a disminuir (Figura 13 a). La respuesta de los grupos genómicos es estadísticamente igual entre ellos, cuya pendiente describe una magnitud y sentido de -0.0028 ($p < 0.0001$), con una explicación de la variabilidad de un 39% (Anexo 5, inciso a).

Dentro de los grupos genómicos AAA, ninguna de las variedades mostró respuesta a la sombra, es decir, un incremento en el nivel de sombra no afectó la circunferencia basal en ninguno de los cultivares ($p > 0.076$). Resultados similares fueron obtenidos al realizar la agrupación de los cultivares Baby más Williams, cuya pendiente fue de -0.0030 con un $p = 0.0676$ y con un ajuste a la recta de predicción de un 53% (Anexo 5, inciso b.b.1).

A diferencia del grupo AAA, dentro del grupo genómico AAB (Curaré, Plátano enano y Manzano) todos los cultivares respondieron a la sombra a través de una disminución en la circunferencia basal con un incremento de ésta (Figura 13 c). Esto se puede apreciar en el parámetro de la recta, cuya pendiente tiene un valor de -0.0029 , ($p < 0.0001$), con una explicación de la variabilidad de un 47% (Anexo 5, inciso c).

En el grupo genómico ABB, conformados por los cultivares Bluggoe y Filipita, la sombra afectó negativamente la circunferencia basal, donde un incremento en el nivel de sombra significó una disminución de la circunferencia basal (Figura 13 d). El valor de la pendiente de fue -0.0025 ($p 0.000$) con una explicación de la variabilidad de un 59% (Anexo 5, inciso d).

4.1.2.5 Inserción foliar (m)

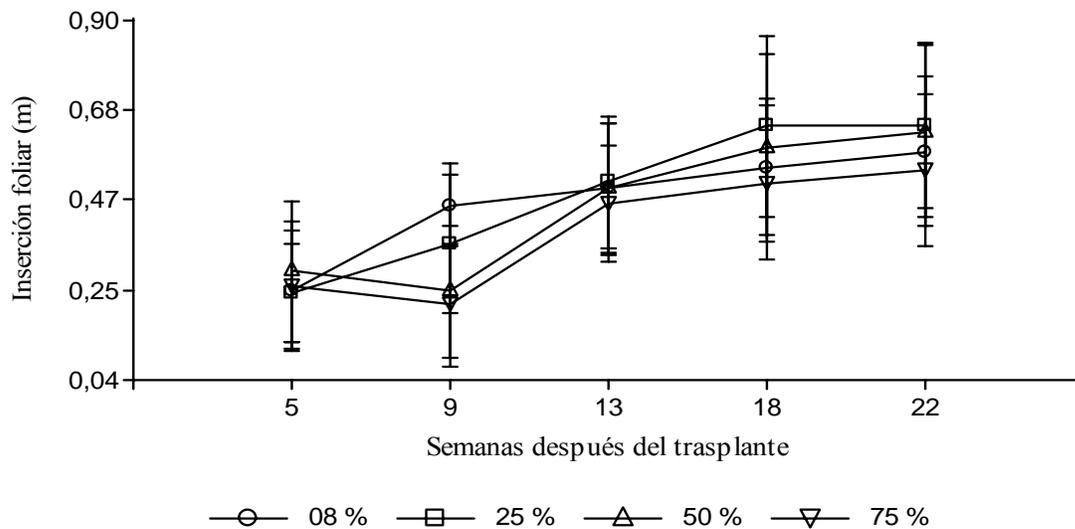


Figura 14. Promedio de la inserción foliar por planta de musáceas entre la semana 5 y semana 22 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%). Las barras de corte indican las desviaciones estándar.

Al igual que las otras variables vegetativas, la inserción foliar tiene un incremento lineal con el tiempo. El incremento de la longitud de la inserción foliar en el intervalo de tiempo de 9 a 22 sdt fue de 0.33, 0.4, 0.34, 0.28 m para las respectivas parcelas 8, 25, 50, 75% (Figura 14). No obstante, la longitud de la inserción foliar solamente describe un efecto de la sombra en la novena semana de crecimiento vegetativo de las musáceas, $p < 0.0001$ (Anexo 6, inciso s).

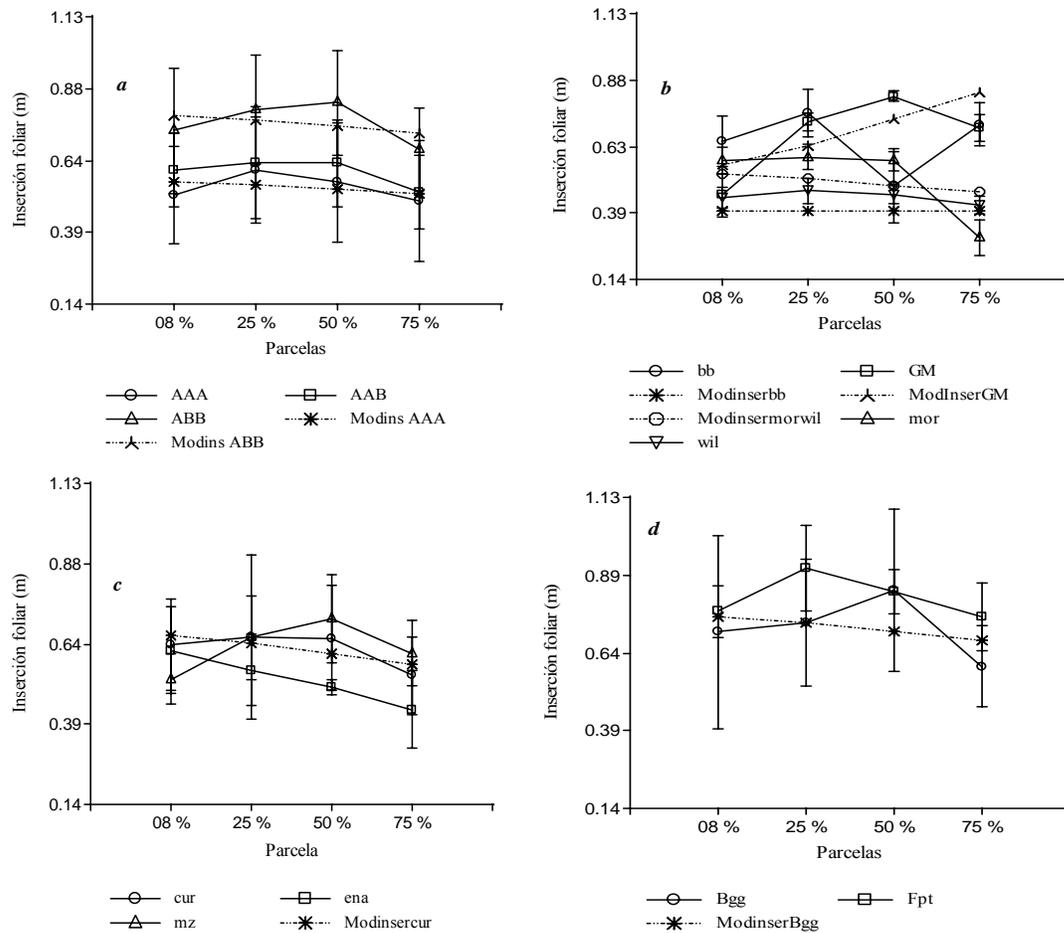


Figura 15. Inserción foliar por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar. Modins AAA = recta modelada a nivel de genoma AAA. Modinserbb = recta modelada para el cultivar Baby. ModinserGM = recta modelada para el cultivar Gros Michel. Modinsermorwil = recta modelada para la agrupación Morado y Williams. Modinsercur = recta modelada para el cultivar Curaré. ModinserBgg = recta modelada para el cultivar Bluggoe.

A nivel de grupo genómico, a las 22 semanas después del trasplante los tres grupos genómicos formados no fueron afectados por el nivel de sombra $p = 0.3994$, Figura 15 a (Anexo 6, inciso a).

Dentro del grupo genómico AAA solamente el cultivar Gros Michel mostró una respuesta a la sombra con una pendiente de 0.0037 ($p = 0.0135$). Esto significa que el cultivar Gros Michel aumenta la longitud de la inserción foliar a medida que aumenta el nivel de sombra, con una explicación de la variabilidad en un 32%. Este porcentaje de ajuste (32%) no se logró mejorar aun con la agrupación de los cultivares Morado-Williams (Anexo 6, inciso b, b.1, b.2).

Dentro del grupo genómico AAB, estadísticamente se evidencia que no existe una respuesta a la sombra para ninguno de los cultivares evaluados. Esto se puede apreciar en el parámetro de la recta para el cultivar Curaré, cuya pendiente tiene un valor de -0.0013 ($p < 0.129$) con una explicación de la variabilidad de un 10% (Anexo 6, inciso c).

En lo que se refiere a la respuesta a la sombra por parte del grupo genómico ABB, (Figura 15 d) estadísticamente se evidencia que no existe una respuesta a la sombra para ninguno de los cultivares evaluados. Esto se puede apreciar en el parámetro de la recta para el cultivar Bluggoe, cuya pendiente presenta un valor de -0.0011 ($p < 0.4983$) con una explicación de la variabilidad de un 0.2% (Anexo 6, inciso d).

4.1.3 Parámetros de intercambio gaseoso

4.1.3.1 Curvas fotosintéticas de diferentes cultivares de musáceas establecidos en diferentes niveles de sombra natural

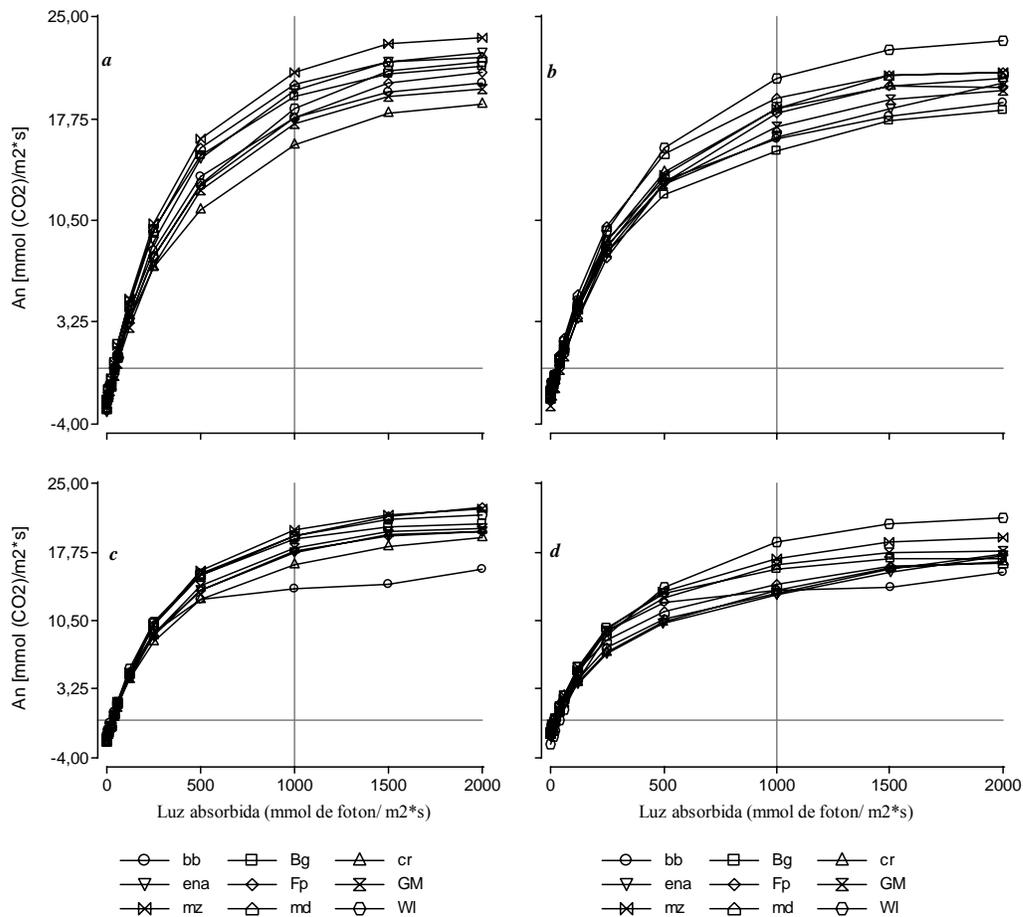


Figura 16. Fotosíntesis y respiración [$\mu\text{mol (CO}_2\text{)/m}^2\text{s}$] en diferentes cultivares de musáceas para cada parcela; 8% (a), 25 % (b), 50% (c) y 75 % (d) entre 15 a 19 semanas después del trasplante.

La línea de corte horizontal indica el valor cero. a = se refiere a la parcela mínima sombra (8%), b = parcela 25 %, c = parcela 50 %, d = parcela 75 %. bb= Baby, ena = Plátano enano, mz = Manzano, Bg = Bluggoe, Fp = Filipita, md = Morado, cr = Curaré, GM = Gros Michel, WI = Williams

A medida que se incrementó el flujo de fotones fotosintéticos se incrementó la fotosíntesis de todas las variedades evaluadas (Figura 16). Ninguna de las variedades presentó signos de foto-inhibición a medida que se incrementó el flujo de fotones desde 0 hasta 2000 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$ en ninguno de los niveles de sombra. Después de los 1500 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$ todas las variedades muestran una recta más estable con respecto al valor de la fotosíntesis.

4.1.3.2 Respuesta de la tasa máxima fotosintética a un máximo nivel de luz (20000 micro mol de fotones) de diferentes cultivares de musáceas cultivados bajo un gradiente de sombra natural

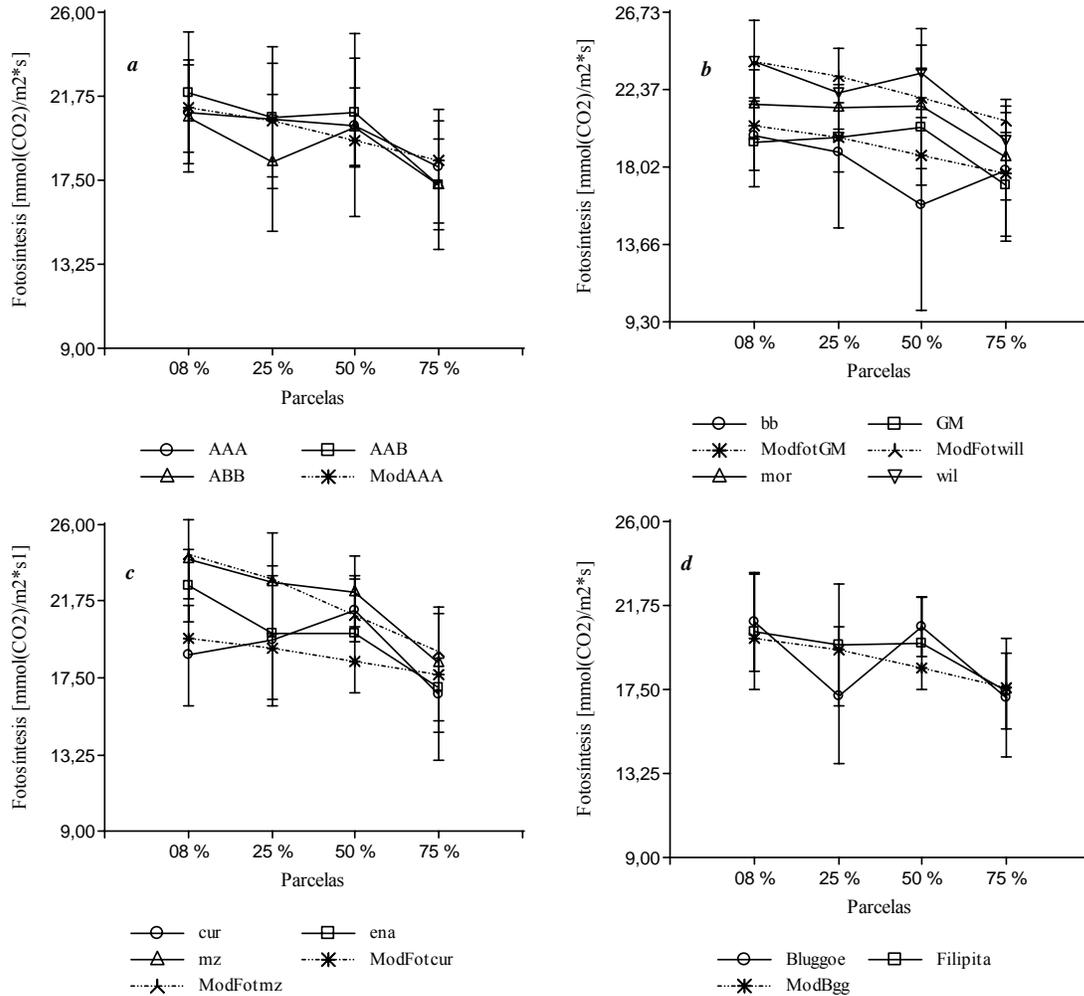


Figura 17. Fotosíntesis neta (A_n) a 2000 ($\mu\text{mol de fotón}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) entre las semanas 15 y 19 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar. Mod AAA = recta modelada a nivel de genoma AAA. ModFotGM = recta modelada para el cultivar Gros Michel. ModFotwil = recta modelada para el cultivar Williams. ModFotcur = recta modelada para el cultivar Curaré. ModBgg = recta modelada para el cultivar Bluggoe (ABB).

A nivel de grupo genómico, a las 17 semanas después del trasplante los tres grupos genómicos formados presentan una tendencia negativa con respecto al nivel de sombra, lo que significa que a un mayor nivel de sombra la fotosíntesis disminuye (Figura 17 a). Esta reducción se evidencia estadísticamente significativa para el grupo genómico AAA, con una pendiente de -0.04 ($p=0.0007$). No obstante los otros grupos genómicos muestran tener una respuesta diferente al grupo AAA ($p>0.155$) con una explicación de la variabilidad de un 13% (Anexo 7, inciso a).

Dentro del grupo genómico AAA, ninguna de las variedades mostró respuesta a la sombra, es decir, la fotosíntesis a un nivel máximo de flujo de fotones fotosintéticos no fue

afectada por el nivel de sombra (Figura 17 b). Esta evidencia se puede verificar a través de la pendiente del cultivar Gros Michel, con un valor de -0.03 ($p = 0.1261$) con una explicación de un ajuste de la variabilidad de un 24% (Anexo 7, inciso b).

De igual manera dentro del grupo AAB, ninguna de las variedades mostró respuesta a la sombra (Figura 17 c). Esto se puede apreciar en el parámetro de la recta para el cultivar Curaré con una pendiente de -0.03 ($p < 0.2008$) y con una explicación de la variabilidad de un 30%, (Anexo 7, inciso c). El mismo comportamiento mostraron las variedades dentro del grupo ABB con una pendiente de -0.0374 ($p < 0.0692$) y con una explicación de la variabilidad de un 7%, (Anexo 7, inciso d).

4.1.3.3 Índice de Uso eficiente del agua de musáceas a un máximo nivel de luz ($2000 \mu\text{mol}$ de fotones/ $\text{m}^2\cdot\text{s}$), de diferentes cultivares de musáceas bajo un gradiente de sombra natural

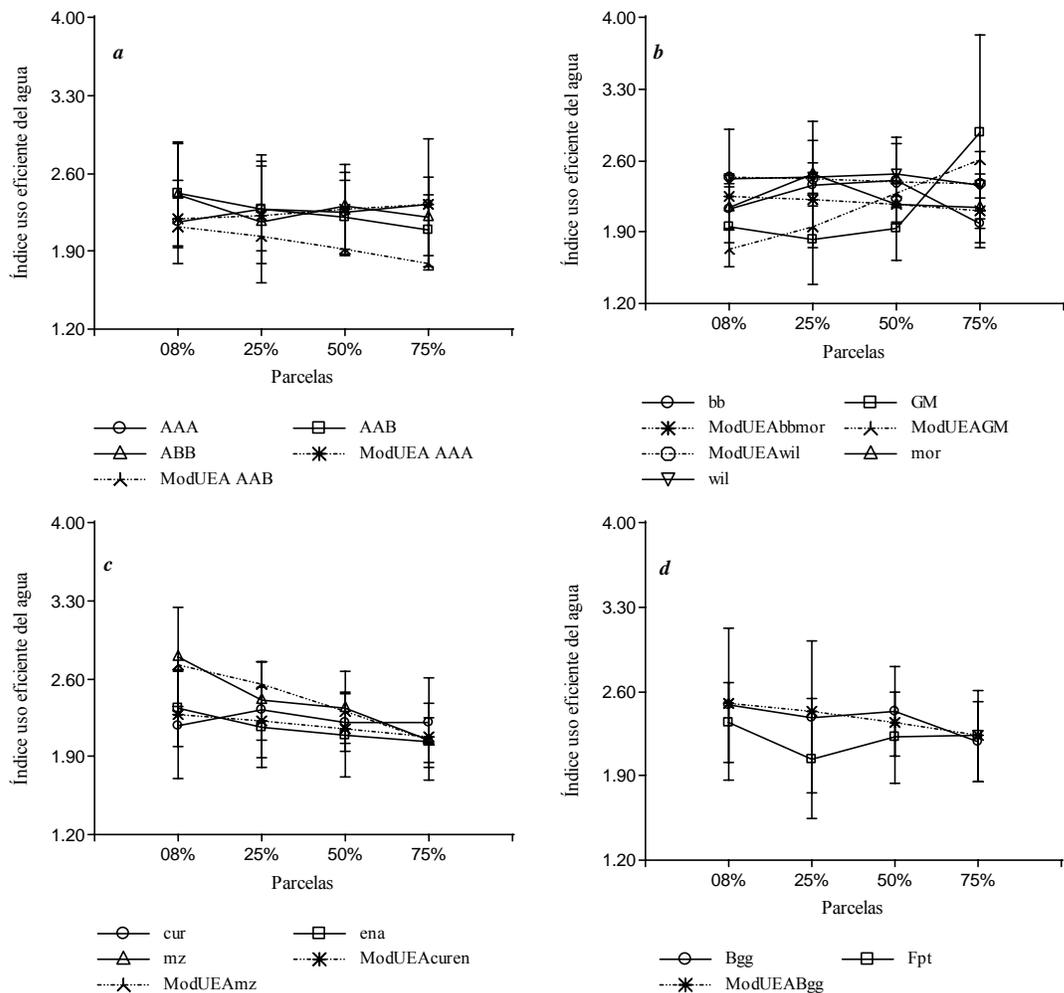


Figura 18. Índice uso eficiente del agua por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d), entre las semanas 15 y 19 después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar. ModUEA AAA = recta modelada a nivel de genoma AAA. ModUEA AAB = recta modelada a nivel de genoma AAB. ModUEAAbbmor = recta modelada para la agrupación Baby Morado. ModUEAwil = recta modelada para el cultivar Williams. ModUEAGM = recta modelada para el

cultivar Gros Michel. ModUEAmz = recta modelada para el cultivar Manzano. ModUEAcuren = recta modelada para la agrupación Curaré y Plátano enano. ModHUEABgg = recta modelada para el cultivar Bluggoe.

Los grupos genómicos formados presentan diferentes tendencias del uso eficiente del agua (UEA). El grupo AAA muestra una tendencia positiva, en donde a un mayor nivel de sombra el de uso eficiente del agua tiende a aumentar. Es decir, la tasa fotosintética es mayor que la tasa de transpiración. Mientras tanto, el grupo genómico AAB presenta una tendencia negativa con una disminución del UEA a mayor nivel de sombra (Figura 18). La tendencia del grupo genómico AAB, muestra ser estadísticamente diferente ($p > 0.005$) a la tendencia del grupo AAA ($p = 0.228$), con una explicación de la variabilidad de un 2% (Anexo 8, inciso a).

Dentro del grupo genómico AAA, el cultivar Gros Michel disminuyó el UEA con incremento en el nivel de sombra. Esto se puede observar a través de la pendiente de -0.013 ($p = 0.0003$). Esta pendiente es estadísticamente diferente a la pendiente de los cultivares Williams, Morado y Baby ($p < 0.0053$), con un valor explicativo de un 11%. Este mismo valor explicativo se logró al realizar la agrupación de los cultivares Baby, Morado y Williams mostrando una respuesta diferente estadísticamente a la respuesta del cultivar Gros Michel ($p < 0.0004$). De igual manera, al realizar la agrupación de Baby mas Morado se observa que se mantiene una respuesta estadísticamente diferente ($p < 0.0014$) a la respuesta del cultivar Gros Michel, con una explicación de la variabilidad de un 13% (Anexo 8, inciso b, b.1, b.2).

En el caso del grupo genómico AAB descrito por la Figura 18c, se observa que estadísticamente el cultivar Curaré no presenta una respuesta a la sombra ($p = 0.927$). No obstante, el cultivar Manzano si muestra una respuesta estadísticamente diferente ($p = 0.021$) a la respuesta del cultivar Curaré. En este caso, solamente se logra una explicación de un 18%, en captar el efecto de la sombra sobre los valores de índice de UEA. La explicación de la variabilidad se mantuvo en un 18%, aun cuando se probó la agrupación de los cultivares Curaré y Plátano enano. En este caso se evidencia estadísticamente que el cultivar Manzano muestra una respuesta a la sombra sobre el índice de UEA, es decir, a mayor nivel de sombra, el UEA se reduce en una magnitud y sentido de -0.010 , $p = 0.004$ (Anexo 8, inciso c, c.1).

Por último, los cultivares del grupo genómico ABB (Figura 18 d) no muestran un efecto importante de la sombra sobre el índice de UEA. Esto se puede observar a través del sentido y magnitud de la pendiente del cultivar Bluggoe, cuyo valor corresponde a -0.004 , ($p = 0.2208$) con una explicación de la variabilidad de un 1% (Anexo8, inciso d).

4.1.4.1 Partición de la materia seca de musáceas según grupo genómico AAA, AAB y ABB y nivel de sombra

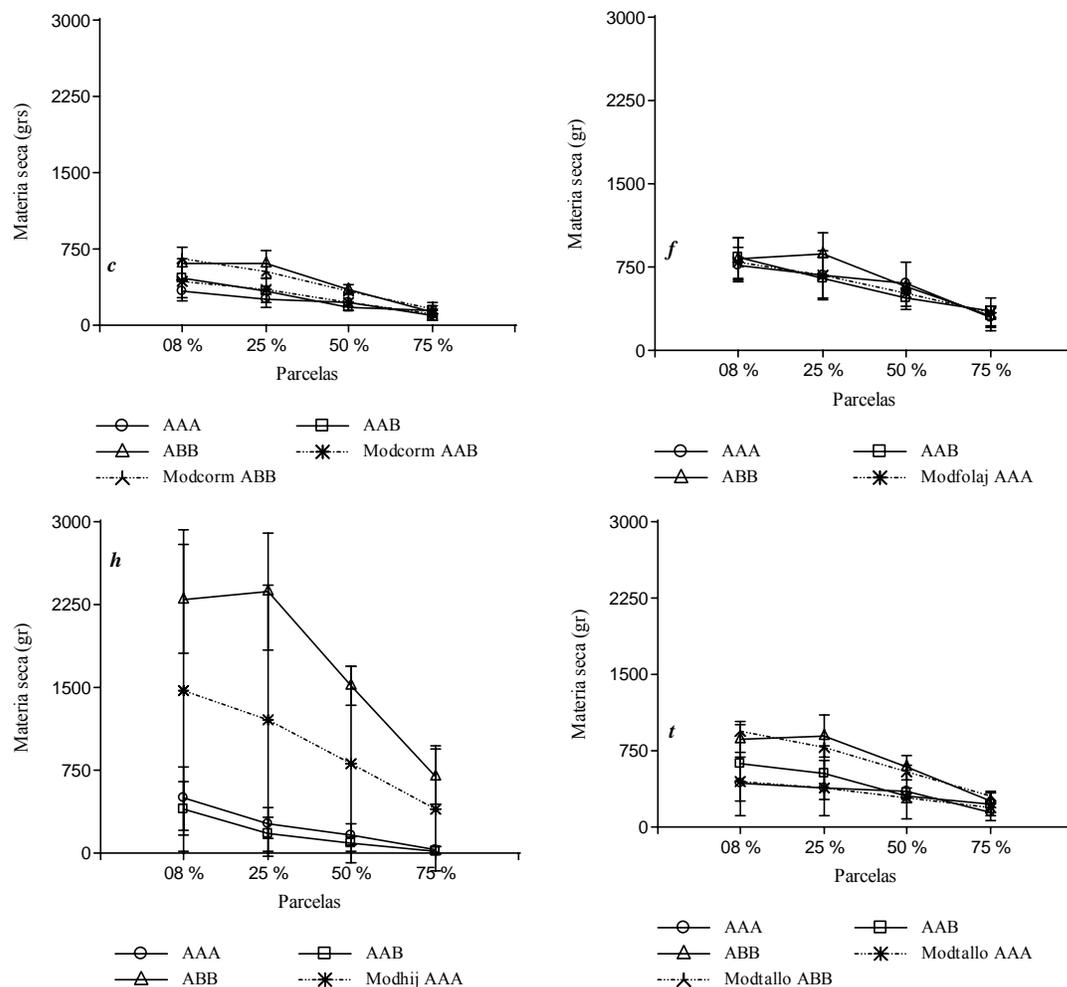


Figura 19. Partición de la materia seca por grupo genómico AAA, AAB y ABB para el cormo (c), follaje (f), hijos (h) y tallos (t) bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar, c = cormo, f = follaje, h = hijos, t = seudotallo. ModcormAAB = recta modelada para el cormo del grupo AAB. ModcormABB = recta modelada para el cormo del grupo ABB. ModfolajAAA = recta modelada para el follaje del grupo AAA. ModhijAAA = recta modelada para el hijo del grupo AAA. Modtallo AAA = recta modelada para el seudotallo del grupo AAA. Modtallo ABB = recta modelada para el seudotallo del grupo ABB.

La materia seca del cormo de los diferentes cultivares del grupo genómico AAB y ABB, muestra una tendencia, cuya tendencia indica que a mayor nivel de sombra, la cantidad de MS del cormo tiende a disminuir (Figura 19 c). La evidencia estadística se puede observar en el parámetro del grupo AAA, cuya pendiente tiene un valor de -3.399 ($p < 0.0001$). En este caso el grupo AAB tiene una respuesta a la sombra estadísticamente igual a la del grupo AAA. No obstante la respuesta del cultivar Filipita (ABB) es diferente estadísticamente ($p = 0.0002$) a la del grupo AAA, con una explicación de la variabilidad de un 63% (Anexo 9, inciso c).

De igual manera, el follaje en los diferentes grupos genómicos muestra una tendencia negativa. En donde a mayor nivel de sombra la producción de MS del follaje tiende a disminuir (Figura 19 f). Esta tendencia se puede observar a través de la pendiente del cultivar Curaré, la cual muestra un valor de -6.76 ($p < 0.0001$) estadísticamente igual a la respuesta de los otros grupos. Con una explicación de la variabilidad de un 53% (Anexo 9, inciso f).

En lo referente a la capacidad de producción de MS a través de los hijos, se observa que los diferentes cultivares presenta una tendencia de reducir la materia seca de los hijos a medida que aumenta el nivel de sombra (Figura 19 f). En este caso, grupo AAA presenta una respuesta a la sombra a través de la pendiente cuyo valor es de -6.52 ($p < 0.0001$). No obstante, la respuesta del cultivar Filipita es estadísticamente diferente a la respuesta del grupo AAA ($p < 0.0001$) con una explicación de la variabilidad de un 89% (Anexo 9, inciso h). Los valores de MS en hijos son relativamente altos para el cultivar Filipita, es de considerar que este dato incluye el cormo, el tallo y el follaje de los hijos.

Por último, los valores de MS delseudotallo de los diferentes grupos genómicos, muestran una tendencia negativa. A mayor nivel de sombra, la producción de MS delseudotallo tiende a disminuir (Figura 19 t). En este caso, el grupo AAA muestra una respuesta a la sombra a través del parámetro de la pendiente con un valor de -3.86 ($p = 0.0020$). El valor del grupo ABB es estadísticamente diferente al grupo AAA, con una la pendiente de -9.58 , ($p = 0.0198$) y con una explicación de la variabilidad de un 38% (Anexo 9, inciso t).

4.1.4.2 Efecto de la sombra en la partición de la materia seca de musáceas según grupo genómico AAA

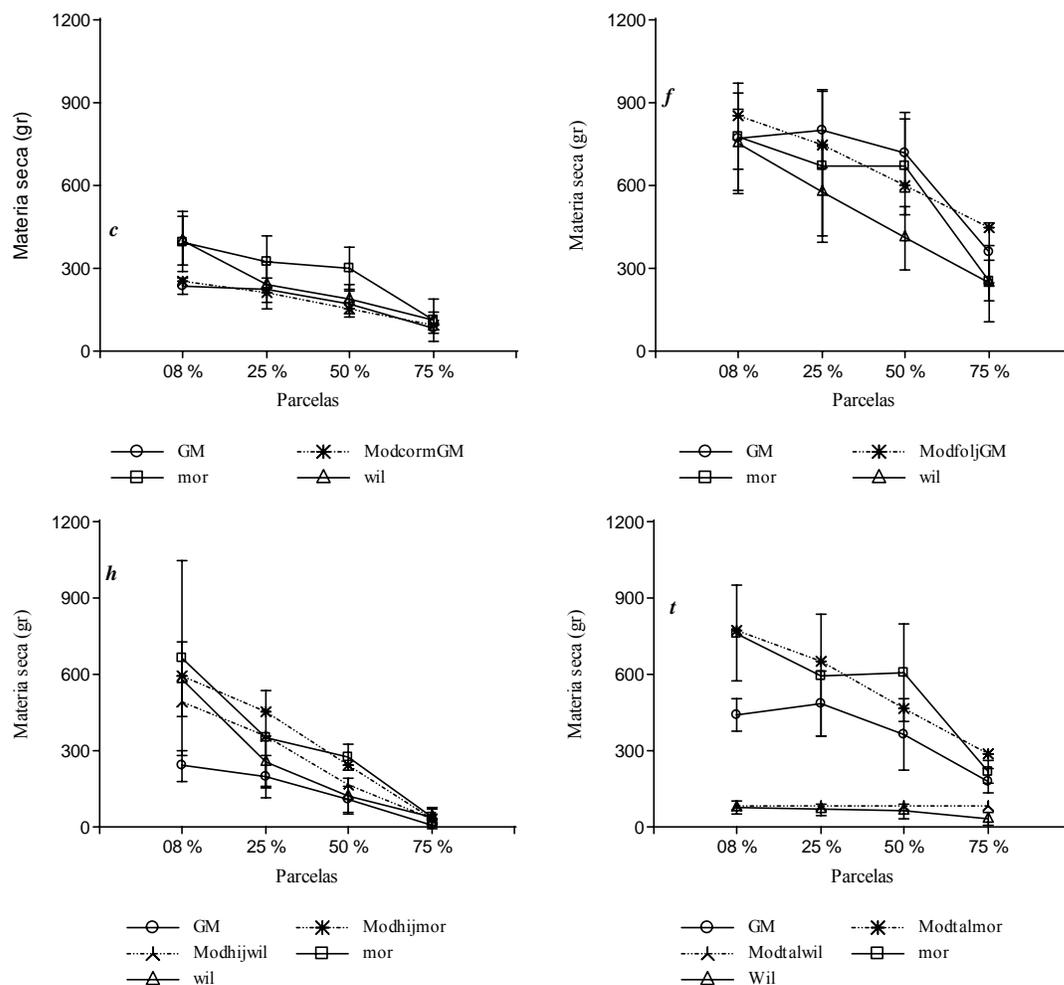


Figura 20. Partición de materia seca dentro grupo genómicos AAA para cormo (c), follaje (f), hijos (h), tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar, c = cormo, f = follaje, h = hijos, t = seudotallo. ModcormGM = recta modelada para el cormo del cultivar Gros Michel. ModfoljGM = recta modelada para el follaje del cultivar Gros Michel. Modhijwil = recta modelada para el hijo del cultivar Williams. Modhijmor = recta modelada para el hijo del cultivar Morado. Modtalwil = recta modelada para el seudotallo del cultivar Williams. Modtalwil = recta modelada para el seudotallo del cultivar Morado.

Dentro del grupo genómico AAA, la materia seca del cormo presenta una tendencia negativa, en donde a mayor nivel de sombra el peso seco del cormo tiende a disminuir (Figura 20 c). La evidencia estadística se puede observar en el parámetro del cultivar Gros Michel, cuya pendiente describe un valor de -2.32, ($p=0.0006$). De igual manera, los cultivares Morado y Williams muestran una respuesta a la sombra estadísticamente igual a la del cultivar Gros Michel ($p < 0.0755$), con una explicación de la variabilidad de un 64% (Anexo 10, inciso c).

En lo referente al follaje de los diferentes cultivares del grupo genómico AAA, muestra una tendencia negativa, en donde a mayor nivel de sombra la producción de MS del follaje tiende a disminuir (Figura 20 f). Esta tendencia se puede observar a través de la pendiente del cultivar Gros Michel, cuya pendiente muestra un valor de -6.07 ($p = 0.0002$), estadísticamente

igual a la respuesta del cultivar Morado y Williams, con una explicación de la variabilidad de un 52% (Anexo 10, inciso f).

En cuanto a producción de MS a través de los hijos, se observó que los diferentes cultivares presentan una tendencia de reducir la materia seca de los hijos a medida que aumenta el nivel de sombra (Figura 20 h). En este caso, el cultivar Gros Michel presenta una respuesta a la sombra a través de la pendiente cuyo valor es de -3.46 ($p = 0.0101$). No obstante, la respuesta del cultivar Gros Michel es diferente a la respuesta de los cultivares Morado y Williams, los cuales muestran una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.0277$), con una explicación de la variabilidad de un 62%. Esta explicación no se logró mejorar, aun con la formación de grupo de los cultivares Morado y Williams (Anexo 10, inciso h, h.1).

Por último, la MS del seudotallo de los diferentes cultivares del grupo AAA muestra una tendencia negativa. Donde a mayor nivel de sombra la producción de MS del seudotallo tiende a disminuir. Sin embargo, esta tendencia no es muy marcada para todos los cultivares. El cultivar Williams casi no refleja la tendencia negativa. Al parecer este cultivar muestra valores por debajo de los otros cultivares (Figura 20 t). Los valores del cultivar Williams son estadísticamente diferentes ($p = 0.0381$) a los valores del cultivar Gros Michel, cuyo cultivar muestra una respuesta a la sombra a través de la pendiente con valor de -4.15, estadísticamente diferente a cero ($p = 0.0007$), con una explicación de la variabilidad de un 76%. Este valor de ajuste es considerado relativamente mejor que el ajuste obtenido de la agrupación de los cultivares Morado y Williams, cuyo ajuste fue de un 10% (Anexo 10, inciso t, t.1).

4.1.4.3 Efecto de la sombra en la partición de la materia seca de musáceas según grupo genómico AAB más ABB

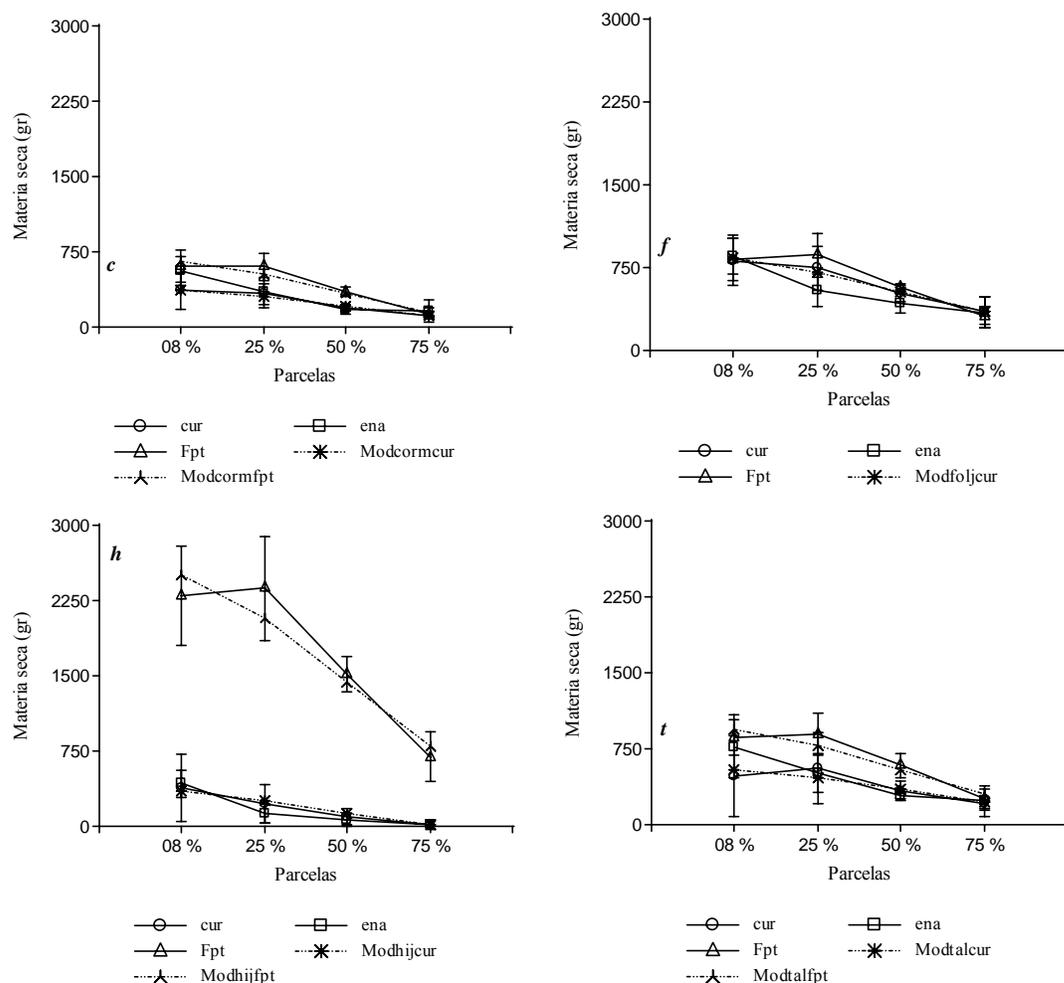


Figura 21. Partición de materia seca dentro grupo genómicos AAB más ABB, para cormo (c), follaje (f), hijos (h), tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Las barras de corte indican las desviaciones estándar, c = cormo, f = follaje, h = hijos, t = seudotallo. Modcormfpt = recta modelada para el cormo del cultivar Filipita. Modcormcur = recta modelada para el cormo del cultivar Curaré. Modfoljcur = recta modelada para el follaje del cultivar Curaré. Modhijfpt = recta modelada para el hijo del cultivar Filipita. Modhijcur = recta modelada para el hijo del cultivar Curaré. Modtalft = recta modelada para el seudotallo del cultivar Filipita. Modtalcur = recta modelada para el seudotallo del cultivar Curaré.

La materia seca del cormo de los diferentes cultivares que conforman el grupo genómico AAB y ABB muestra una tendencia indicando que a mayor nivel de sombra la cantidad de MS del cormo disminuye (Figura 21 c). La evidencia estadística se puede observar en el parámetro del cultivar Curaré, cuya pendiente presenta un valor de -3.929 ($p = 0.0009$). En este caso el cultivar Plátano enano tiene una respuesta a la sombra estadísticamente igual a la respuesta del plátano Curaré. No obstante la respuesta del cultivar Filipita (ABB) es diferente estadísticamente ($p = 0.0244$) a la del cultivar Curaré, con una explicación de la variabilidad de un 60% (Anexo 11, inciso c).

De igual manera, el follaje de los diferentes cultivares muestra una tendencia negativa, en donde a mayor nivel de sombra la producción de MS del follaje tiende a disminuir (Figura

21 f). Esta tendencia se puede observar a través de la pendiente del cultivar Curaré, cuya pendiente muestra un valor de -7.147 ($p < 0.0001$), estadísticamente igual a la respuesta de los cultivares Plátano enano y Filipita, con una explicación de la variabilidad de un 60% (Anexo 11, inciso f).

En lo referente a la capacidad de producción de MS a través de los hijos se observa que los diferentes cultivares presentan una tendencia de reducir la materia seca de los hijos a medida que aumenta el nivel de sombra (Figura 21 h). En este caso, el cultivar Curaré presenta una respuesta a la sombra a través de una pendiente de -5.324 ($p=0.0408$). No obstante, la respuesta del cultivar Filipita es estadísticamente diferente a la respuesta de los cultivares Curaré ($p < 0.0001$), con una explicación de la variabilidad de un 90% (Anexo 11, inciso h).

Por último, los valores de MS del seudotallo de los diferentes cultivares muestran una tendencia negativa, donde a mayor nivel de sombra la producción de MS del seudotallo tiende a disminuir (Figura 21 t). En este caso el cultivar Curaré muestra una respuesta a la sombra a través del parámetro, cuya pendiente tiene un valor de -4.829 ($p = 0.0218$). De igual manera los cultivares Plátano enano y Filipita describen una respuesta estadísticamente igual ($p > 0.0977$) a la respuesta del cultivar Curaré, con un ajuste de 49 % (Anexo 11, inciso t).

4.2 Discusión

4.2.1 Efecto de la sombra sobre el microclima con relación a condiciones para el crecimiento de las musáceas

El crecimiento, desarrollo y producción de las musáceas son el resultado de la interacción armónica de los principales factores climáticos de la zona de producción (radiación solar, temperatura, precipitación, humedad relativa). Si en determinadas etapas del desarrollo del cultivo algunos de estos factores inciden en magnitudes por fuera de los límites de tolerancia, las plantas alterarán su desempeño productivo y fisiológico (Cayón 2004). En el caso de musáceas, la temperatura ejerce una influencia en el crecimiento y la producción de racimos ya que, a medida que la temperatura disminuye, el crecimiento vegetativo se hace más lento, retardándose la tasa de emisión de hojas y por ende el desarrollo de los racimos. En general, el rango óptimo de temperatura anual para la producción total de frutos es entre 20°C y 30°C. Cuando las temperaturas promedio anuales se encuentran dentro del rango de 25-30°C, el desarrollo de la planta se acelera, dando como resultado un período de tiempo menor entre racimos, aunque éstos tienden a ser más pequeños. Algunos cultivares del grupo AAA, como Cavendish Enano y Williams, son más tolerantes a las bajas temperaturas, comparados a otros cultivares como el Baby (AA) (Cayón 2004). La mayoría de las investigaciones se han realizado para tipos de bananos de exportación (monocultivo), por lo que se conoce poco sobre los efectos de la temperatura en muchos otros cultivares de musáceas, principalmente en sistemas agroforestales.

En los meses de mayo-junio y septiembre-octubre, las parcelas con un nivel de sombra de 8% y 25% mostraron un ligero incremento en la temperatura, en comparación con las parcelas de 50 y 75% de sombra, sin embargo, los valores de la temperatura no superaron los 25°C ni bajaron los 22°C, aun que las temperaturas en los sistemas agroforestales con banano-árboles y café por lo general son variables. En otras parcelas en Turrialba en el año 2011, las temperaturas oscilaron entre 31°C por el día y 18°C por la noche (con una amplitud térmica de 13°C), sistemas similares en dos zonas en Nicaragua (Monterrey y Yasica Sur) las temperaturas máximas por el día fueron de hasta 43°C y de 13°C por la noche entre los meses de abril a junio (Bustamante 2012). Lo que significa que el banano en estos sistemas se aclimata a una serie de temperaturas dinámicas. Aún, la variación de temperatura de 33 a 26°C durante el día y la noche son mas favorables para la tasa de emisión de hojas, que cuando la temperatura fluctúa entre 17 a 10°C (Turner *et al.* 1989). El tratamiento con sombra conllevó a una reducción de la temperatura en un promedio de 1.4°C en la parcela 75% en comparación con la parcela con mínima sombra. Robinson y Nel (1988) observaron que dentro de un cierto rango de temperatura la tasa de emisión de hojas está positivamente relacionada con la temperatura del ambiente. Por otra parte, Robinson *et al.* (2001) calcularon que en las regiones subtropicales, un incremento de 10°C de la temperatura máxima mensual promedio, que se encuentra entre 23 y 32°C, conduce a una producción extra de 3.6 de hojas por año. Staver (comunicación personal) indica que la emisión de una hoja requiere aproximadamente 120 grados días.

Calculando la diferencia en grados días entre las parcelas 8% y 75%, en base a 1.4°C de diferencia promedia durante el periodo del experimento de 154 días (22 semanas), implican 215 grados días menos para la parcela 75%, lo que conllevaría a una reducción en el número de hojas emitidos de 1.8 hojas por efecto de la temperatura.

Las musáceas son consideradas altamente sensibles a la disponibilidad de agua. Evidencias anecdóticas basadas en la experiencia en las plantaciones apoyan la opinión de que los bananos requieren ‘provisiones abundantes y constantes de agua’ (Popenoe 1941). Por otro lado, las investigaciones fisiológicas sugieren que los bananos son sorprendentemente tolerantes al déficit hídrico del suelo (Kallarackal *et al.* 1990) y pueden evaporar menos agua que otros cultivos (Lu *et al.* 2002). El banano tiende a responder a la irrigación frecuente o a la precipitación regular de lluvia que previene al suelo de secarse. Debido al cierre de los estomas tan pronto como el suelo comienza a secarse, la planta no es un gran usuario del agua. En efecto, es muy conservadora, más bien, la planta de banano utiliza poco agua, y por lo tanto, en condiciones de sequía se convierte en un sobreviviente y no en un adaptador (Cayón 2004). La humedad del suelo en las diferentes parcelas se mantuvo entre 38 y 40%, aun que en algunas semanas bajó hasta 34%. Sin embargo, no se observaron signos de estrés hídrico en ninguna de las parcelas, aun que la sombra influyó la humedad del suelo siendo mayor a mayor nivel de sombra. Se dice que los bananos y los plátanos necesitan entre 100-200 mm de precipitación mensual de lluvia uniformemente distribuida. Para un ciclo de cultivo de 10 meses esto representa cerca de 1000 a 2000 mm. Según Soto (1990) se requieren aproximadamente 30 mm de precipitación por semana para satisfacer la demanda hídrica del cultivo de banano. En los 5 meses de la ejecución del experimento, aproximadamente 1280 mm de lluvia fueron registrados, lo cual aparentemente fue suficiente para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, no se conocen las exigencias hídricas de musa en sistemas agroforestales, aunque los requerimientos hídricos del banano están condicionados a la zona donde se desarrolle el cultivo (Peña *et al.* 2005). Los requerimientos hídricos de *Musa* para crecer normalmente también dependen de la variedad, de la radiación solar diaria, de la densidad poblacional, de la edad del cultivo y del área foliar. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que el consumo de agua por *Musa* es variable (Belalcázar *et al.* 1991), principalmente en sistemas agroforestales donde ni la radiación ni el área foliar permanecen constantes. Normalmente, las mediciones volumétricas del estado hídrico foliar indican que las plantas de banano permanecen muy hidratadas aun mostrando otras señales de déficit hídrico (Turner *et al.* 2008). Varias investigaciones han mostrado que las hojas de banano permanecen bastante hidratadas a medida que se seca el suelo (Shmueli 1953; Kallarackal *et al.* 1990, Turner y Thomas 1998).

4.2.2 Crecimiento vegetativo de las musáceas

Se evidenció que a mayor nivel de sombra el número de hojas emitidas se reduce (Anexo 2, inciso s). En promedio de todos cultivares, el número de hojas emitidas en la parcela 75% se redujo por 4.5 hojas comparado con la parcela 8%. Esta reducción es superior a la reducción estimada por efecto de la temperatura cuyo valor se estimó a 1.8 hojas durante el periodo del experimento. Álvarez *et al.* (2001) consideran que la tasa de emisión de hojas

puede estar en promedio de 0.763 hoja/semana para el cultivar Dwarf Cavendish, manejado orgánicamente en zona subtropical. En este caso, el valor promedio de la tasa de emisión de hojas es similar a lo observado en la parcela 75% (0.7482 hoja/semana). Por otra parte Galán *et al.* (1995), reportan que el cultivar Williams (AAA), en la Isla Canaria (zona subtropical), puede tener una tasa de emisión de hojas de un valor medio aproximado a 0.5 hoja/semana. Turner (2007), indica que la tasa de emisión de hojas de las musáceas puede estar en promedio de 1 hoja/semana. No obstante, Calier *et al.* (2002), encontraron que las condiciones agroclimáticas pueden interferir en la tasa de emisión de hojas, de tal manera que, en condiciones adversas, los valores pueden oscilar entre 0.35 y 0.46 hoja/semana. En este caso, los valores se muestran ligeramente inferiores a los valores observados en este estudio. Probablemente la metodología de muestreo puede inferir en el cálculo de la tasa de emisión de hojas (hoja/semana) o bien en la parcela 75%, al menos durante la ejecución del estudio, no se presentaron condiciones adversas que pudiesen haber reducido la tasa de emisión de hojas. Los resultados de la tasa de emisión de hojas concuerdan a lo citado por Allen *et al.* (1988), quienes reportan que la tasa máxima de emisión de hojas para un grupo de 16 cultivares de musáceas cultivados en pleno sol (incluye los cultivares Gros Michel, Morado y Williams), ocurrió a las 9.14 semanas (64 días) después del trasplante.

Con respecto al número total de hojas emitidas en el presente estudio, evaluados hasta a la semana 22 sdt, no se observó una diferencia en intercepto o en la pendiente a nivel de los grupos genómicos. Sin embargo, se observó que dentro del grupo genómico AAA, el cultivar Gros Michel presentó una respuesta a la sombra, con valor del intercepto de 20.9 hojas emitidas y una pendiente de -0.027. El valor del intercepto es igual al valor del intercepto del cultivar Williams, es decir que en la parcela mínima sobra ambos cultivares emitieron igual número de hojas, pero el cultivar Williams emitió aún menos hojas que Gros Michel en la parcela de 75% (Anexo 2). Dentro del grupo genómico AAB, los cultivares Plátano enano y Manzano mostraron un intercepto y respuesta igual al cultivar Curaré (Anexo 2, inciso c). De la misma manera, en el grupo genómico ABB, los cultivares Bluggoe y Filipita no mostraron diferencias en la emisión de hojas (Anexo 2, inciso d).

El área foliar de las musáceas mostró una tendencia de aumento a través del tiempo para todas las parcelas evaluadas. También, todos los cultivares, en la semana 22 sdt, evidencian una disminución en área foliar como respuesta al incremento de la sombra. Las musáceas establecidas en la parcela 75 % redujeron un 39 % del área foliar promedio a la 22 con respecto a la parcela 8 %. A nivel de grupos genómicos se observó una respuesta significativa (Anexo 2). Sin embargo, dentro del grupo AAA se observa que el cultivar Gros Michel no presentó una respuesta a la sombra, mientras que los cultivares Baby, Morado y Williams mostraron una respuesta diferente al cultivar Gros Michel. A pesar de esto, se evidenció que el grupo AAA, presentó un intercepto igual para todos los cultivares evaluados, cuyo valor fue de 6.08m². En los otros grupos, AAB y ABB, no hubo diferencia significativa entre los cultivares (Anexo 3).

En el análisis de la variable altura del seudotallo en las 22 sdt, todos los grupos genómicos presentaron una respuesta similar a la sombra. Dentro del grupo genómico AAA,

Baby y Gros Michel no muestran ser afectados por la sombra, mientras que Morado y Williams presentan una disminución de la altura del seudotallo a medida que incrementa la sombra (Anexo 4). En lo referente al grupo genómico AAB, los cultivares Curaré y Manzano no mostraron una respuesta a la sombra. No obstante, el cultivar Plátano enano mostró una respuesta. La tasa de crecimiento de longitud del seudotallo para el cultivar William en la parcela 75% fue de 0.053 m/semana, la cual es similar a la reportada por Saleh (2005) con un valor de 0.051 m/semana, para el cultivar Williams cultivado durante 52 semanas bajo sombra artificial en zona subtropical. Sin embargo debe de tomarse en cuenta, que el crecimiento de las plantas, está en función del cultivar, densidad poblacional y de las condiciones agroecológicas. Israeli (1995), reporta que en condiciones de pleno sol y bajo sombra, la variable altura presentó diferencias significativas para el cultivar Grand Nain (AAA), en el segundo ciclo de producción. La densidad de siembra es otro factor de competencia por luz (competencia intra-específica). Algunos estudios de densidad poblacional en musáceas reportan diferencias estadísticas significativas en altura y circunferencia basal del seudotallo a diferentes distancias de siembra. Smith *et al.* (2010), reportan que la distancia de siembra incrementó la altura comparando las densidades de 2,500 versus 1,666 plantas/ha para el cultivar Baby en el primer ciclo de producción. De igual manera, el cultivar plátano Hartón gigante a una densidad de 3,330 fue 57.5cm más alto que a una densidad de 1,458 plantas/ha (Martínez *et al.* 2009). Resultados similares son reportados por Ventura (2004), en donde el cultivar FHIA 21 aumentó la altura estadísticamente significativo, al aumentar de la densidad poblacional de 2,500 a 4,448 plantas/ha. En sistemas agroforestales, la competencia por luz no es solamente intra-específica, sino también inter-específica por causa de los árboles. Aristizábal (2008), considera que la altura de las musáceas en especial el cultivar plátano Hondureño (AAB), es disminuida a medida que se aproxima el tiempo de emergencia de la bellota floral. Esto podría ser un factor afectando de manera diferente a variedades de porte bajo comparado con los de porte alto, y puede explicar la diferencia en respuesta de Plátano enano y Curaré y Manzano.

La circunferencia basal a nivel general mostró una disminución similar en todos los grupos genómicos a medida que se incrementa la sombra. Sin embargo se observaron algunas diferencias en el intercepto, es decir en la circunferencia basal en la parcela de mínima sombra. El intercepto del cultivar Gros Michel (0.612m) es diferente al intercepto de los cultivares Baby y Williams (0.499, 0.5126m). De igual forma, el intercepto del cultivar Filipita con un valor de 0.62m es significativamente mayor que Bluggoe (Anexo 5).

El aspecto morfológico, inserción del área foliar a nivel grupo genómico, no presenta una respuesta a la sombra. No obstante, dentro del grupo genómico AAA, se observó que el cultivar Gros Michel presenta una respuesta a la sombra con un valor del intercepto de 0.539m y una pendiente de 0.0037. Sin embargo los cultivares Baby, Morado y Williams, presentaron una respuesta diferente, con intercepto igual al cultivar Gros Michel y una pendiente menor. En lo referente a los cultivares Curaré, Plátano enano, Manzano, Bluggoe y Filipita, se observó que no hay una respuesta a la sombra (Anexo 6).

4.2.3 Fotosíntesis y materia seca de musáceas bajo diferentes niveles de sombra natural

En Centroamérica, la producción de banano en sistemas agroforestales está normalmente en asociación con cacao y café (Guiracocha *et al.* 2001; Schibli 2001; López *et al.* 2003), donde la luz es el principal factor limitante (Dold 2010). Por lo tanto, varios estudios reportan un impacto negativo de la sombra sobre la fotosíntesis del banano (Israeli *et al.* 1995; Robinson and Nel 1988).

En el presente estudio, un incremento en el nivel de sombra significó una disminución de la fotosíntesis (An) en los diferentes cultivares estudiados a un valor máximo de radiación fotosintéticamente activa (RFA) de 2,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ($p < 0.001$). A nivel de grupo genómico, hay una diferencia en An en el intercepto dentro del grupo AAA, con William presentando un valor mayor comparado con Gros Michel. Similar comportamiento mostraron las variedades dentro del grupo AAB en donde el cultivar Manzano presenta un valor mayor que Curaré (Anexo 7). En estudios anteriores, la asimilación neta de CO_2 fue generalmente reducida con un incremento en la sombra en variedades de banano dentro del grupo AAB (Senevirathna *et al.* 2008). Por otro lado, Eckstein *et al.* (1997) encontró que una reducción del RFA de 69%, se tradujo en una reducción de la fotosíntesis en un 27%.

Uno de los recursos que más condiciona la tasa de fotosíntesis es la radiación. La respuesta de la tasa de fotosíntesis a la luz depende en muchos casos de la especie en cuestión y de la zona o micro sitio en la que se encuentre, ya que la hoja se aclimata a esas condiciones particulares y cambia sus características morfológicas y fisiológicas (Valladares 2001). Para todas las variedades estudiadas, en los diferentes niveles de luz, un incremento en la RFA significó un incremento en la fotosíntesis neta. El valor de An a 2000 [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2)/\text{m}^2\cdot\text{s}$] fue de entre 10 a 20 [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2)/\text{m}^2\cdot\text{s}$]. Existe una considerable variación en la forma de las curvas de respuesta fotosintética entre los experimentos, cultivares y condiciones ambientales, principalmente en la tasa máxima de An , que puede variar de 5 a 25 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$, y el valor de la saturación para la densidad fotosintética del flujo de fotones, que puede variar de 700 a más de 2,000 $\mu\text{mol quanta}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ (Turner *et al.* 2008). En este trabajo se observa un incremento en la fotosíntesis lineal a intensidades bajas de luz (de 0 a 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ hasta llegar acercarse a la asíntota entre 1,000 a 1,500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$). A partir de los 1,500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, la fotosíntesis permanece aproximadamente constante indicando una saturación, sin mostrar signos de foto inhibición (Figura 16). Estos resultados no coinciden con los encontrados por Senevirathna *et al.* (2007) y Rodrigo *et al.* (2001), donde el banano que creció a pleno sol, llegó a la saturación de luz a los 1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. Sin embargo, Robinson *et al.* (1998), muestran que An es aumentada por la presencia de los órganos en crecimiento en la planta y esto puede ser la razón del por qué Thomas y Turner (2001), encontraron que la An de las hojas en las plantas del cv. Williams (AAA, subgrupo Cavendish), que estaban en un crecimiento vegetativo rápido, no alcanzaron la saturación lumínica aún a plena luz del sol. De lo anterior, es probable que en sistemas agroforestales las musáceas en la etapa de crecimiento vegetativo (22 sdt), no muestren saturación a la luz.

En los sistemas agroforestales las plantas están expuestas a cambios considerables en la intensidad de luz, puesto que la sombra no es homogénea (cuadros 6 y 7). Estos sistemas están caracterizados por poca luz difusa alternando con espacios claros, es decir, periodos cortos de alta intensidad de luz (Chazdon, 1988). Sin embargo, a pesar de la disminución en la fotosíntesis con el incremento del nivel de sombra, las musáceas se han aclimatado. Las plantas exhibieron un inmediato incremento de Anet en respuesta a un incremento del flujo fotónico (Figura 16). Esta respuesta dinámica probablemente significa que permite al banano una eficiente utilización de espacios claros para la fotosíntesis (Valladares *et al.* 1997). O bien, una regulación de sombra en momentos apropiados podría contribuir a que las musáceas obtengan un aprovechamiento eficiente de la luz dentro los sistemas agroforestales.

Resultados del Uso Eficiente del Agua (UEA), calculado través de la relación de Anet/Transpiración, muestran que entre los diferentes grupos genómicos estudiados, sólo el grupo AAB fue afectado por la sombra. Los otros grupos, AAA y ABB, no mostraron ninguna tendencia de UEA con respecto al nivel de sombra. Dentro del grupo AAB, sólo el cultivar Manzano mostró un efecto de la sombra. Dado que ninguna de las variedades mostró signos de estrés hídrico en los diferentes niveles de sombra, es de esperarse que el nivel de sombra no afectara el uso eficiente del agua, pues esta variable está intrínsecamente relacionada al estrés hídrico. De hecho, el cierre estomático por estrés hídrico, aunque reduce la transpiración, no debería reducir el flujo de agua a la hoja desde la planta y del suelo, por lo tanto, el balance hídrico neto de la hoja debería aumentar (Turner *et al.* 2008).

Existen evidencias de aclimatación del banano a la captura de máxima luz en condiciones de sombra; por ejemplo, el banano que crece en sombra tiene hojas delgadas e incrementa el contenido de clorofila (Israeli *et al.* 1995). Esta aclimatación puede mejorar la eficiencia de la absorción de luz y su utilización por las hojas (Anderson y Osmond 1987, citado por Turner 1998). Sin embargo, no existen reportes sobre la aclimatación en sombra en términos de distribución de materia seca del banano (Senevirathna *et al.* 2008). En relación a la materia seca, la respuesta a la sombra fue diferente según grupo genómico. Los grupos AAA y ABB mostraron una disminución de la materia seca del cormo a medida que se incrementó el nivel de sombra (Figura 19 c). De igual manera, la materia seca del follaje disminuyó con el nivel de sombra (Figura 19 f). Con respecto a la materia seca del tallo y de los hijos, el grupo AAA y AAB disminuyeron la materia seca en la medida en que se incrementó el nivel de sombra (Figura 19 t). Estos resultados coinciden con los encontrados por Senevirathna *et al.* (2008), donde la materia seca total decreció con un incremento en la sombra a los 7 meses después de plantados. El área foliar y la fotosíntesis están estrechamente relacionados con la acumulación de materia seca y, por lo tanto el área foliar ha sido utilizado para evaluar la capacidad fotosintética y predecir el desempeño productivo de las plantas de plátano y banano (Turner 1984; Swennen y De Langhe 1985; Stover y Simmonds 1987). La sombra, además de afectar el área foliar, afectó la fotosíntesis y por ende la materia seca, siendo estas variables menores a medida que se incrementa el nivel de sombra. La reducción RFA en las plantas bajo sombra, resultó en correspondencia con una reducción en la materia seca.

Dentro del grupo AAA, las variedades Gros Michel, Morado y Williams, presentaron una disminución de la materia seca del cormo y del follaje con un incremento de la sombra. Dentro la asociación de los grupos AAB más ABB, las variedades Curaré, Plátano enano y Filipita, mostraron una disminución de la materia seca del cormo, follaje yseudotallo con un incremento de la sombra. La sombra afectó la materia seca de los hijos en las variedades Plátano enano y Curaré con una disminución a medida que se incrementa el nivel de sombra (Anexo 11).

Todas las variedades estudiadas distribuyeron menos materia seca en los hijos con un incremento en la sombra. También, la materia seca del pseudotallo y del follaje disminuyó con un nivel de sombra más alto, lo que demuestra que las plantas de musáceas al estar expuestas a niveles de sombra altos crecen menos. En el presente estudio la materia seca se evaluó a los 5 meses después del trasplante, es decir, mucho antes de que las plantas florecieran. El cormo y el pseudotallo sirven como depósitos de fotoasimilados hasta la floración, cuando la planta comienza a transferir grandes cantidades de esas reservas a los frutos en formación, lo cual coincide con la disminución notoria de la materia seca que experimentan estos órganos entre la floración y la cosecha de los racimos (Cayón 2004).

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La temperatura y humedad relativa variaron según el nivel de sombra. La temperatura en la parcela 75% fue 1.4°C menor que en la parcela 8%. No obstante, la humedad relativa incrementó en un 15%, al aumentar el nivel de sombra a 75%. La diferencia en temperaturas promedio semanales es tan baja que se considera poco probable que esto haya sido el factor determinante para la respuesta de las musáceas a la sombra en las variables de crecimiento vegetativo evaluadas. La estimación de la posible reducción en número de hojas emitidas por efecto de la temperatura en términos de grados días, es de 1.8 hojas, sin embargo la reducción observada en promedio de todos cultivares es de 4.5 hojas. Se desconoce el efecto particular de la diferencia en la humedad relativa. Sin embargo, con base en la revisión bibliográfica, es probable que el factor luz fuera el factor más determinante en la reducción de crecimiento vegetativo observado en los diferentes niveles de sombra.

La disminución en hojas emitidas, área foliar, circunferencia basal y altura del seudotallo de las musáceas como efecto de un incremento en el nivel de sombra desde 8% hasta 75% fue observada y estadísticamente significativa a partir de la décima tercer semana después del trasplante.

Los resultados obtenidos a la 22 sdt confirman que los diferentes cultivares de musáceas responden de manera diferente a la sombra para cada variable evaluada. El cultivar menos afectado por la sombra referente a las variables área foliar, altura del seudotallo, circunferencia basal e inserción foliar fue Gros Michel. También, Gros Michel se distingue por mantener el nivel más alto en el uso eficiente del agua en la sombra. En lo referente a la variable altura del seudotallo, los resultados evidencian que los cultivares de porte bajo (Plátano enano AAB, Morado AAA y Williams AAA) mostraron una disminución de la altura a medida que se aumentó el nivel de sombra, lo que indica que son más aptos para un ambiente de altas intensidades de radiación solar.

Las diferencias entre los cultivares dentro de los grupos genómicos demuestran que la respuesta a la sombra no se pueden interpretar a este nivel de agrupación por genoma.

Un incremento en el flujo de fotones fotosintéticos (*FFF*) resultó en un incremento en la fotosíntesis neta en todos los niveles de sombra (8, 25, 50, 75%) sin embargo, la fotosíntesis neta a 2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ no fue afectada por la sombra en todos los cultivares de musáceas evaluados, indicando que las musáceas tienen el potencial de aprovechar la heterogeneidad de la sombra en el sistema agroforestal.

5.2 Recomendaciones

La evaluación de las variables: emisión de hojas, área foliar, altura y circunferencia del seudotallo, fotosíntesis a máximo flujo de luz, deberán de ser evaluada individualmente por cada cultivar en estudio, ya que a nivel de grupo genómico la variabilidad de los datos presentaron un menor ajuste.

Evaluar otros cultivares, bajo diferentes condiciones agroclimáticas y diseños de sistema agroforestales, utilizando como referencia el cultivar Gros Michel.

7 BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguirre, V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Tesis Magíster Scientiae, IICA-Turrialba, Costa Rica. 93p
- Allen, RN; Dettmann, EB; Johns, GG. 1998. Estimation of Leaf Emergence Rates of Bananas. *Aust. J. Agric. Res.* 39: 53-62.
- Álvarez, CE; Ortega, A; Fernández, E. 2001. Growth, yield and leaf nutrient content of organically grown banana plants in the Canary Islands. *Fruits* 56:17-26. Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, La Laguna Tenerife Spain.
- Aristizábal, LM. 2008. Evaluación del crecimiento y desarrollo foliar del plátano hondureño enano (*Musa AAB*) en una región cafetera colombiana. *Agron.* 16 (2): 23-30 ISSN 0568-3076.
- Barradas, V; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology* 38: 101 -112 .
- Belalcázar, S; Cayón, G; Lozada, JE. 1991. Ecofisiología del cultivo. *In*: Belalcázar, S. (ed.). El cultivo del plátano en el trópico. ICA-INIBAP-CIID-COMITECAFE Quindío. Feriva, Cali. p. 91-109.
- Bertsch, HF. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo 1ª. ed. San José, CR.: ACCS 157 p.: il.;28 cm
- _____. 2003. Absorción de nutrimentos por cultivos. 1ª ed. San José ACCS, 307 p.: il.; 27.94x 21.59cm. ISBN 9968-9422-0-0
- Bruin, S. 1991. Simulation of Potential Banana Photosynthesis in the Atlantic Zone of Costa Rica. *Turrialba* 41(3): 299 – 305.
- Calier, J; De Waele, D; Escalant, JV. 2002. Evaluación global de la resistencia de los bananos por *Fusarium*, enfermedades de las manchas foliares causadas por *Mycosphaerella* y nematos. Evaluación extensiva (A. Vézina y C. Picq. eds). Guías técnicas INIBAP 6. Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, Montpellier, Francia INIBAP ISBN 2-910810-54-2
- Cayón, SDG. 2004. Ecofisiología y productividad del plátano (*Musa AAB* Simmonds) XVI Reunión Internacional ACORBAT. Publicación especial. p. 172 -183.
- Crane, JH; Balerdi, CF; Maguire, I. 2005. Banana growing in the Florida home landscape University of Florida IFAS Extension. HS 1013 p.
- Chandler VJ; Abrunna, F; Silva, S. 1966. Effect of shade trees on yields of five crops in the humid mountain region of Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico.* 1:3 218–225.

- Chazdon, RL. (1988). Sunflecks and their importance to forest understorey plants. *Advances in Ecological Research* 18: 1-63.
- Cubillo, D; Laprade, S; Vargas, R. 2001. Manual Técnico para el manejo integrado de insectos plaga en el cultivo de banano San José Costa Rica. CORBANA, Direcciones de Investigaciones 73 p.
- Danilles, J; Jenny, C; Karamura, D. 2001. Musalogue: a catalogue of Musa germoplasm. Diversity in the genus Musa (E. Arnaud and S. Sharrock, compil). International Network for the Improvement of Bananas and Plantain, Montpellier, France.
- De Langhe, E; De Maret, P. 1999. Tracking the banana: its significance in early agriculture. In *The Prehistory of Food. Appetites for change* Gosden Ch. And Hather, J. Ed. One World Archaeology Series Ed. P.J. Ucko 554 p.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Gonzalez, LA. 2008. Estadística para las ciencias agropecuarias. Séptima edición, 326 p.
- Dold, C. 2010. Leaf Area Index and Measurements of Light Transmission as Management Tools in Banana Production in Central American Coffee Agroforestry Systems Thesis in partial fulfillment of the requirements for the academic degree of Master of Science of the Faculty of Agriculture Rheinische Friedrich- Wilhelms Universität zu Bonn-Germany. 93 p.
- Eckstein, K; Robinson, JC; Fraser, C. 1997. Physiological responses of banana (Musa AAA; Cavendish sub-group) in the subtropics. VII. Effects of windbreak shading on phenology, physiology and yield. *Journal of Horticultural Science* 72(3): 389-396.
- _____; Fraser, C. 1998. Greenhouse cultivation of bananas in south Africa Proc. Int. Sympo. Banana in subtropics. Ed. F'Galan Sauco Acta Hort. 490, ISHS. p. 135-144.
- Galán S.V; Cabrera CJ; Hernández, DP. 1995. A comparison of banana cultivars Dwarf Cavendish, Grande Nain and Williams for the Canary Islands. *Fruits* 50: 255 – 266.
- Garnica, AM. 2003. Uso de la agroforestería, para disminuir la severidad de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo del plátano (Musa ABB, Simmonds). In Rivas, G; Rosales, FE. (eds.). Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos. Actas del Taller, Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociado al cultivo de Musáceas, celebrado en Guayaquil Ecuador 11; 13 agosto 2003.
- Guiracocha, G; Harvey, C; Somarriba, E; Krauss, U; Carrillo, E. 2001: Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 7 -11.
- Holdrige, LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida 4ª. Reimpresión San José, C.R Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1996, c1978 216 p.; 23 cm.- (Colección Libros y Materiales Educativos/ IICA; no. 84) ISBN 92 -9039-131 6 Agris F40;L20

- Infostat; manual del usuario versión 2008/ Julio Alejandro Di Rienzo...[et. al.]; coordinado por Julio Alejandro Di Rienzo.- 1ed.-Cordobas: Brujas, 2008. 336.; 24x17 cm. ISBN 98-987-591-100-9
- Israeli, Y; Plaut, Z; Schwart, A. 1995. Effect of shade on banana morphology, growth and production. *Scientia Horticulturae* 62: 45-56.
- Kallarackal, J; Milburn, JA; Baker, DA. 1990. Water Relations of the banana, III Effects of Controlled Water Stress on Water Potential, Transpiration, Photosynthesis and Leaf Growth *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 79-90.
- Lentfer, C. J. and Green R. 2004. Phytoliths and the evidence for banana cultivation at the Lapita Reber-Rakival site on Watom Island, Papua New Guinea. In *A Pacific Odyssey: Archaeology and Anthropology in the Western Pacific*. Paper in Honour of Jim Specht, ed. Val Attenbrow and Richard Fullgar, pp 75-78.
- LI- COR Biosciences Inc. 2008. Using the Li-6400/Li-640XT Portable Photosynthesis System Version 6. 9ª impresión publication number 9806 - 122.
- López, A; Orozco, L; Somarriba, E; Bonilla, G. 2003. Tipologías y manejo de fincas cafetaleras en los municipios de San Ramón y Matagalpa, Nicaragua, *Agroforestería en las Américas* 10:37-38.
- Lu, P; Woo, K-C; Liu Z-T. 2002. Estimation of whole-plant transpiration of bananas using sap flow measurements. *J. Exp. Bot.* 53:1771-1779.
- Martinez, G. Blanco, G. Hernández, E. et al. (2009) Comportamiento del plátano (*Musa* AAB Subgrupo plátano, cv. Hartón Gigante) sembrado a diferentes densidades de siembra en el Estado Yaracuy, Venezuela. *UDO Agrícola* 9 (1): 259- 267
- Mekwatanakarn, W.;Turner, DW. 1989. A simple model to estimate the rate of leaf production in bananas in the subtropics. *Scientia Horticulturae* 40:53-62.
- Murray, DB. 1961. Shade and fertilizer relations in the banana. *Tropical Agriculture* 38 (2): 123 – 132.
- Norgrove, L. 1998 *Musa* in multistrata systems focus on shade. Crop management effect of shade. *INFOMUSA* 7:17-22.
- Nyombi, K; Asten, PJA; van PA. 2009. Allometric growth relationships of East Africa Highland bananas (*Musa* AAA-EAHB) cv. Kisansa and Mbwazirume. *Annals of Applied Biology* 155: 403 – 418.
- Olalla, MF; Fuster, PL; Belmonte, AC. 2005. *Agua y Agronomía*. Mundi- Prensa Libros S.A. Disponible en <http://www.books.google.co.cr/books>
- Peñas, PE. 2005. Necesidades hídricas del banano y del plátano. Monografía. Ministerio de Educación Superior. Centro Universitario de las Tunas Facultad de Ciencias Agrícola. Ed. Universitario La Habana – Cuba. p 54.
- Popenoe, W. 1941. Banana culture around the Caribbean. *Tropical Agriculture* 18:8-12 and 33-38.

- Robinson, JC; Nel. 1988. Plant density studies with banana (cv Williams) in a subtropical clima. I. Vegetative morphology, phenology and plantation microclimate. *Journal of Horticultural Science* 63: 303-313.
- _____ ; Alberts, AJ. 1987. The influence of under canopy sprinkler and drip irrigation systems on growth and yield of banana (Cultivar Williams) in the subtropics. *Scientia Horticulturae* 25: 149-161.
- Rodrigo, VHL; Stirling, CM; Teklehaimanot, Z, 2001. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation – use efficiency of immature rubber plantations. *Field crops research* 69: 237 – 249.
- Saleh, MM. 2005. Growth and Productivity of Williams Banana Grown Under Shading Conditions. *Journal of Applied Sciences Research* 1(1): 59 – 62. Senevirathna, AMWK; Stirling, CM; Rodrigo, VHL. 2008. Acclimation of photosynthesis and growth of banana (*Musa spp.*) to natural shade en the humid tropics. *Expl. Agric.* 44 :301 – 312.
- Schibli, C. 2001. Percepciones de familias productoras sobre el uso y manejo de sistemas agroforestales con café, en el norte de Nicaragua; *Agroforestería en las Américas* 7(28): 8 – 14.
- Sierra, J; Brisson, N; Ripoche, D; Déqué, M. 2010. Modeling the impact of thermal adaptation of soil microorganisms and crop system on the dynamics of organic matter in a tropical soil under a climate change scenario. *Ecological Modelling* Vol. 221 (23), pp. 2850–2858.
- Scot, NC; Randy, CP; Kay, KA. 2006. *Musa* species (banana and plantain) Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. 33p.
- Shmueli, E. 1953. Irrigation studies in the Jordan Valley. 1. Physiological activity of the banana in relation to soil moisture. *Bull. Res. Counc. Isr.* 3:228-247.
- Smith, E; Velásquez, M; Zúñiga, L. 2010. Efecto de la densidad de población sobre el crecimiento y producción de plantas en primera generación de banano dátil (musa AA) *Agronomía Costarricense* 34(1): 77-83.
- Soto, BM. 1990. *Banano cultivo y comercialización* 2 da. Edición San José 648 p. Il. 25.9 cm.
- Spectrum Technologies, Inc. 2009. User's Manual Catalog # 6430FS Fieldscout TDR 300 soil moisture meter.
- Stover, RH; Simmonds, NW. 1987. *Bananas*. 3rd edition, Longman Scientific & Technical, Harlow U.K.
- Swennen, R; De Langhe, E. 1985. Growth parameters of yield of plantain (*Musa* cv. AAB). *Ann. Bot.* 56: 197-204.
- Thomas, DS; Turner, DW; Eamus, D. 1998. Independent effects of the environment on the leaf gas exchange of three banana (*Musa* sp.) cultivars of different genomic constitution. *Scientia Horticulturae* 75: 41 – 57.
- _____ ; Turner, DW. 2001. Banana (*Musa* sp.) Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding. *Scientia Horticulturae* 90: 93 – 108.

- Turner, DW; Lahav, E. 1983. The Growth of Banana Plants in Relation to Temperature Aust. J. Plant Physiol. 10: 43-53.
- _____; Hunt, N. 1984. Growth, yield and leaf nutrient composition of 30 banana varieties in subtropical New South Wales. Technical Bulletin 3:26 p.
- _____; Lahav, E. 1986. Temperature influences the distribution of some nutrients in young banana plants independently of its effect on dry matter. Scientia Hort. 28: 47-58
- _____. 1987. Planting Date and Defoliation Influence the Time of Harvest of Banana. Scientia Horticulturae 32: 233-248.
- _____. 1998. Ecophysiology of bananas: The generation and functioning of the leaf canopy Proc. Int. Symp, Banana in Subtropics. Ed. V. Galán Saucó. Acta Hort. 490: 211-221.
- _____; Thomas, DS. 1998. Measurements of plant and soil water status and their association with leaf gas exchange in banana (*Musa* spp.): a laticiferous plant. Sci. Hort. 77:177-193.
- _____. 2003. An integral method for estimating total leaf area in bananas. INFOMUSA 12(2):15-17.
- _____; Fortescue, JA; Thomas, DS. 2008. Environmental physiology of bananas (*Musa* spp). Braz. J. Plant Physiol. 19(4): 463-484.
- Valladares, F; Pearcy; RW. 1997. Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. Plant, Cell and Environment 20: 25-36.
- Valladares, F. 2001- "Luz y evolución vegetal". *Investigación y Ciencia* 303:73-79.
- Ventura, G; Jimenez, R. 2004. Evaluación de densidades de siembra en la producción del plátano cultivar FHIA 21. En IDIAF (Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestal. Resultados de investigaciones en musáceas Santo Domingo , DO. 117 p.
- Bustamente, O. 2012. Científico Asociados en la oficina de Bioversity International en Costa Rica. Comunicación Personal
- De Melo, E. 2011. Responsable académico de la maestría Agroforestería Tropical CATIE Turrialba, Costa Rica. Comunicación Personal
- Staver CH. 2012. Senior Scientist, Sustainable Musa Production Parc Scientifique Agropolis II Montpellier Cedex 5 France. Comunicación Personal

Consultas en Línea

Páginas electrónicas

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT)
[www.fao.org/faostat.org](http://www.fao.org/faostat) consultada en diciembre 2011

Centro Agronómico Tropical de Investigación y de Enseñanza (CATIE) www/catie.ac.cr
consultada el julio, 2011

Otros

Deutschland 2010. Kalender Harenberg. Bilredaktion: Lang, S. Projektmanagement, Wolf Ch.
Herstellung Otmar A.

8 ANEXOS

Anexo 1. Variable humedad del suelo (%) de cuatro parcelas experimentales, registrada durante los meses de Junio a Octubre

Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
N	R ² Aj	ECMP	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
1219	0.206	14.785	const	40.095	0.637	38.845	41.345	62.933	<0.0001
			Parcenu	0.046	0.014	0.019	0.072	3.378	0.0008
			sdt_6	-0.310	0.901	-2.078	1.457	-0.344	0.7306
			sdt_7	-3.698	0.901	-5.466	-1.930	-4.104	<0.0001
			sdt_9	-1.580	0.901	-3.348	0.187	-1.754	0.0797
			sdt_10	1.136	0.901	-0.632	2.904	1.261	0.2077
			sdt_11	-2.263	0.901	-4.031	-0.495	-2.511	0.0122
			sdt_13	-3.578	0.903	-5.349	-1.806	-3.962	0.0001
			sdt_15	0.589	0.901	-1.179	2.356	0.653	0.5136
			sdt_16	3.922	1.686	0.615	7.229	2.327	0.0201
			sdt_18	-2.065	0.901	-3.833	-0.297	-2.292	0.0221
			sdt_20	3.022	1.686	-0.285	6.329	1.793	0.0733
			sdt_22	-4.128	0.945	-5.982	-2.274	-4.369	<0.0001
			sdt_6_Parcenu	-0.018	0.019	-0.056	0.019	-0.959	0.3377
			sdt_7_Parcenu	-0.009	0.019	-0.047	0.029	-0.469	0.6393
			sdt_9_Parcenu	-0.061	0.019	-0.099	-0.024	-3.196	0.0014
			sdt_10_Parcenu	-0.022	0.019	-0.059	0.016	-1.131	0.2583
			sdt_11_Parcenu	-0.007	0.019	-0.044	0.031	-0.348	0.7279
			sdt_13_Parcenu	-0.017	0.019	-0.054	0.021	-0.861	0.3895
			sdt_15_Parcenu	-0.040	0.019	-0.077	-0.002	-2.060	0.0396
			sdt_16_Parcenu	-0.068	0.036	-0.138	0.003	-1.888	0.0592
			sdt_18_Parcenu	-0.028	0.019	-0.065	0.010	-1.436	0.1512
			sdt_20_Parcenu	-0.026	0.036	-0.097	0.044	-0.729	0.4664
sdt_22_Parcenu	-0.005	0.020	-0.044	0.035	-0.237	0.8129			

Anexo 2. Variable emisión foliar de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%).

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj	ECMP	Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
s	1140	0,9436	1,5902	const	3,6527	0,1509	3,3566	3,9489	24,2005	<0.0001
				Parnum	-0,006	0,0032	-0,0124	0,0004	-1,8517	0,0643
				sdt_9	5,2217	0,2135	4,8029	5,6406	24,4629	<0.0001
				sdt_13	8,8438	0,213	8,4259	9,2617	41,5222	<0.0001
				sdt_18	13,0622	0,2131	12,6441	13,4804	61,29	<0.0001
				sdt_22	16,6416	0,2178	16,2142	17,069	76,3979	<0.0001
				sdt_9_Parnu	-0,0234	0,0046	-0,0324	-0,0144	-5,0864	<0.0001
				sdt_13_Parnu	-0,0311	0,0046	-0,0401	-0,0221	-6,7614	<0.0001
				sdt_18_Parnu	-0,0481	0,0046	-0,0571	-0,0391	-10,4861	<0.0001
				sdt_22_Parnu	-0,0602	0,0047	-0,0694	-0,051	-12,7927	<0.0001
a	212	0,5077	3,0261	const	20,1317	0,316	19,5086	20,7548	63,6978	<0.0001
				Parnum	-0,0654	0,007	-0,0791	-0,0517	-9,3913	<0.0001
				Gpogenoma_AAB	0,7378	0,4725	-0,1937	1,6693	1,5616	0,1199
				Gpogenoma_ABB	-0,6112	0,593	-1,7804	0,558	-1,0306	0,3039
				Gpogenoma_AAB_Parnu	-0,0016	0,0103	-0,0219	0,0187	-0,156	0,8762
				Gpogenoma_ABB_Parnu	-0,0004	0,0127	-0,0254	0,0246	-0,0321	0,9745
b	96	0,73	2,05	const	20,8803	0,3881	20,1092	21,6514	53,8034	<0.0001
				Parnu	-0,027	0,0098	-0,0466	-0,0075	-2,7458	0,0073
				Cultivar_Baby	-0,56	0,78	-2,10	0,99	-0,71	0,4765
				Cultivar_Morado	-3,0206	0,6669	-4,3458	-1,6954	-4,529	<0.0001
				Cultivar_Williams	-0,4188	0,5488	-1,5094	0,6717	-0,7631	0,4474
				Cultivar_Baby_Parnu	-0,0585	0,0095	-0,0773	-0,0397	-6,1885	<0.0001
				Cultivar_Morado_Parnu	-0,0302	0,0152	-0,0604	-4,60E-05	-1,99	0,0497
				Cultivar_Williams_Parnu	-0,0489	0,0131	-0,0749	-0,0229	-3,7364	0,0003
b.1	96	0,6421	2,4292	const	21,1586	0,6285	19,9103	22,4069	33,6639	<0.0001
				Parnum	-0,0322	0,014	-0,0599	-0,0044	-2,3035	0,0235
				mixuno_bbmorwill	-1,2982	0,7023	-2,6929	0,0965	-1,8486	0,0677
				mixuno_bbmorwill_Parnu	-0,0408	0,0156	-0,0717	-0,0099	-2,6201	0,0103
b.2	96	0,73	1,9	const	21,16	0,54	20,08	22,24	38,86	<0.0001
				Parnum	-0,03	0,01	-0,06	-0,01	-2,66	0,0093
				mxtcuat_bbwil	-0,65	0,63	-1,9	0,6	-1,03	0,3038
				mxtcuat_Morado	-3,3	0,77	-4,82	-1,78	-4,31	<0.0001
				mxtcuat_bbwil_Parnu	-0,05	0,01	-0,07	-0,02	-3,23	0,0017
				mxtcuat_Morado_Parnu	-0,03	0,02	-0,06	0,01	-1,5	0,1368
c	77	0,57	2,66	const	21,09	0,44	20,21	21,96	47,91	<0.0001
				Parnum	-0,08	0,01	-0,09	-0,06	-7,86	<0.0001
				Cultivar_Enano	-0,42	0,76	-1,93	1,09	-0,55	0,5822
				Cultivar_Manzano	-0,43	0,76	-1,95	1,08	-0,57	0,5702
				Cultivar_Enano_Parnu	0,01	0,02	-0,02	0,04	0,57	0,5689
				Cultivar_Manzano_Parnu	0,02	0,02	-0,01	0,06	1,45	0,1524
d	39	0,57	2,67	const	19,2	0,61	17,97	20,43	31,7	<0.0001
				Parnum	-0,06	0,01	-0,09	-0,04	-4,91	<0.0001
				Cultivar_Filipita	0,66	0,87	-1,1	2,43	0,76	0,4508
				Cultivar_Filipita_Parnu	-0,01	0,02	-0,04	0,03	-0,28	0,779

Anexo 3. Variable área foliar de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj		Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
s	1145	0.72	1	const	0.45	0.12	0.22	0.68	3.77	0.0002
				parcnume	-0.00025	0.0026	-0.01	0.0048	-0.1	0.9223
				sdt_9.00	0.9	0.17	0.57	1.23	5.34	<0.0001
				sdt_13.00	2.03	0.17	1.7	2.36	12.09	<0.0001
				sdt_18.00	3.92	0.17	3.59	4.25	23.25	<0.0001
				sdt_22.00	5.42	0.17	5.09	5.76	31.42	<0.0001
				sdt_9.00_parcnu	-0.0048	0.0036	-0.01	-0.0024	-1.32	0.1887
				sdt_13.00_parcnu	-0.01	0.0036	-0.02	-0.0042	-3.11	0.0019
				sdt_18.00_parcnu	-0.02	0.0036	-0.03	-0.02	-6.59	<0.0001
				sdt_22.00_parcnu	-0.03	0.0036	-0.04	-0.02	-8.13	<0.0001
a	213	0.16	3.11	const	5.75	0.32	5.12	6.39	17.86	<0.0001
				parcnume	-0.03	0.01	-0.04	-0.01	-3.65	0.0003
				grupgenom_AAB	0.37	0.48	-0.57	1.32	0.78	0.4376
				grupgenom_ABB	-0.13	0.6	-1.32	1.06	-0.21	0.8337
				grupgenom_AAB_parcnu	-0.01	0.01	-0.03	0.01	-0.97	0.3322
				grupgenom_ABB_parcnu	-0.01	0.01	-0.03	0.02	-0.49	0.6264
b	97	0.42	3.24	const	6.08	0.69	4.71	7.45	8.84	<0.0001
				parcn	0.02	0.02	-0.01	0.05	1.5	0.1377
				Cultivar_Baby	0.36	0.97	-1.57	2.3	0.38	0.7084
				Cultivar_Morado	0.02	0.97	-1.9	1.94	0.02	0.9853
				Cultivar_Williams	-1.11	0.84	-2.78	0.57	-1.31	0.1939
				Cultivar_Baby_parcn	-0.06	0.02	-0.11	-0.02	-2.99	0.0037
				Cultivar_Morado_parcn	-0.06	0.02	-0.1	-0.02	-2.76	0.007
				Cultivar_Williams_parcn	-0.06	0.02	-0.09	-0.02	-3.01	0.0034
b.1	97	0.43	3.07	const	6.08	0.68	4.73	7.43	8.93	<0.0001
				parcnume	0.02	0.02	-0.01	0.05	1.51	0.1336
				Mxdos_morb	0.19	0.83	-1.46	1.84	0.23	0.8206
				Mxdos_Williams	-1.11	0.84	-2.77	0.55	-1.32	0.1893
				Mxdos_morb_parcnu	-0.06	0.02	-0.1	-0.02	-3.34	0.0012
				Mxdos_Williams_parcnu	-0.06	0.02	-0.09	-0.02	-3.05	0.003
c	77	0.35	2.11	const	6.49	0.4	5.7	7.28	16.36	<0.0001
				parcnume	-0.04	0.01	-0.06	-0.03	-5.16	<0.0001
				Cultivar_Enano	-1.13	0.68	-2.49	0.24	-1.65	0.1037
				Cultivar_Manzano	-0.3	0.68	-1.66	1.06	-0.44	0.663
				Cultivar_Enano_parcnu	0.01	0.01	-0.02	0.04	0.86	0.3908
				Cultivar_Manzano_parcnu	0.02	0.01	-0.01	0.05	1.52	0.1324
d		0.25	2.04	const	5.6	0.53	4.51	6.68	10.47	<0.0001
				parcnume	-0.03	0.01	-0.05	-0.01	-2.53	0.0161
				Cultivar_Filipita	0.05	0.77	-1.5	1.61	0.07	0.9453
				Cultivar_Filipita_parcnu	-0.01	0.02	-0.04	0.03	-0.37	0.7101

Anexo 4. Variable altura del seudotallo de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj	ECMP	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
s	1138	0,7778	0,059	const	0,312	0,0291	0,2548	0,3692	107,074	<0,0001
				parcnume	0,0004	0,0006	-0,0009	0,0016	0,5804	0,5618
				sdt_9.00	0,3347	0,0411	0,2541	0,4153	8,144	<0,0001
				sdt_13.00	0,6765	0,0411	0,5959	0,7571	16,469	<0,0001
				sdt_18.00	10,939	0,0411	10,133	11,745	266,298	<0,0001
				sdt_22.00	14,367	0,0421	13,541	15,194	340,993	<0,0001
				sdt_9.00_parcnu	-0,0014	0,0009	-0,0031	0,0004	-15,582	0,1195
				sdt_13.00_parcnu	-0,0025	0,0009	-0,0043	-0,0008	-28,488	0,0045
				sdt_18.00_parcnu	-0,004	0,0009	-0,0057	-0,0022	-44,694	<0,0001
				sdt_22.00_parcnu	-0,0044	0,0009	-0,0062	-0,0026	-48,285	<0,0001
				a	211	0,061	0,137	const	1,771	0,068
parcnume	-0,005	0,001	-0,008					-0,002	-3,44	0,0007
grupgenom_AAB	-0,061	0,102	-0,261					0,14	-0,597	0,5514
grupgenom_ABB	0,005	0,127	-0,245					0,255	0,039	0,9692
grupgenom_AAB_parcnu	0,002	0,002	-0,002					0,006	0,888	0,3755
grupgenom_ABB_parcnu	0,002	0,003	-0,004					0,007	0,595	0,5526
b	97	0,5851	0,0948	const	2,151	0,118	1,9165	2,3854	18,2306	<0,0001
				parcnu	0,0004	0,0026	-0,0048	0,0056	0,1554	0,8768
				Cultivar_Baby	-0,319	0,1669	-0,6505	0,0126	-1,9115	0,0592
				Cultivar_Morado	-0,4471	0,1659	-0,7767	-0,1175	-2,6951	0,0084
				Cultivar_Williams	-0,5944	0,1448	-0,8821	-0,3066	-4,1045	0,0001
				Cultivar_Baby_parcnu	-0,0052	0,0037	-0,0126	0,0021	-1,4139	0,1609
				Cultivar_Morado_parcnu	-0,0079	0,0036	-0,0151	-0,0007	-2,1796	0,0319
				Cultivar_Williams_parcnu	-0,006	0,0032	-0,0124	0,0003	-1,899	0,0608
b.1	97	0,5883	0,0914	const	2,151	0,1175	19,175	23,844	183,013	<0,0001
				parcnume	0,0004	0,0026	-0,0048	0,0056	0,156	0,8763
				mxdos_Baby	-0,319	0,1662	-0,6491	0,0112	-19,189	0,0581
				mxdos_morwil	-0,5444	0,1357	-0,814	-0,2748	-40,109	0,0001
				mxdos_Baby_parcnu	-0,0052	0,0037	-0,0126	0,0021	-14,193	0,1592
mxdos_morwil_parcnu	-0,0067	0,003	-0,0126	-0,0007	-22,307	0,0282				
c	75	0,349	0,074	const	1,604	0,076	1,452	1,755	21,14	<0,0001
				parcnume	-0,001	0,002	-0,005	0,002	-0,731	0,467
				Cvar_Enano	0,066	0,129	-0,192	0,324	0,511	0,6111
				Cvar_Manzano	0,35	0,129	0,092	0,608	2,708	0,0085
				Cultivar_Enano_parcnu	-0,006	0,003	-0,011	-1,70E-04	-2,054	0,0437
				Cultivar_Manzano_parcnu	-0,002	0,003	-0,007	0,004	-0,547	0,5859
d	39	0,112	0,101	const	1,617	0,119	1,376	1,858	13,645	<0,0001
				parcnume	-0,001	0,003	-0,006	0,004	-0,474	0,6381
				Cultivar_Filipita	0,328	0,17	-0,017	0,673	1,928	0,062
				Cultivar_Filipita_parcnu	-0,005	0,004	-0,012	0,003	-1,294	0,204

Anexo 5. Variable circunferencia basal del pseudotallo de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj	ECMP	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
s	677	0.7204	0.0048	const	0.8089	0.03	0.75	0.87	26.67	<0.0001
				parcnume	-0.0020	0.00	0.00	0.00	-11.07	<0.0001
				sdt_18	0.1186	0.01	0.10	0.14	10.04	<0.0001
				sdt_22	0.1648	0.01	0.14	0.19	12.41	<0.0001
				sdt_18_parcnume	0.0001	0.00	0.00	0.00	0.44	0.6567
				sdt_22_parcnume	0.0003	0.00	0.00	0.00	0.89	0.3711
a	211	0.3862	0.0093	const	0.5439	0.02	0.51	0.58	30.98	<0.0001
				parcnume	-0.0028	0.00	0.00	0.00	-7.36	<0.0001
				grupgenom_AAB	0.0329	0.03	-0.02	0.08	1.25	0.2129
				grupgenom_ABB	0.0318	0.03	-0.03	0.10	0.97	0.334
				grupgenom_AAB_parcnu	-0.0002	0.00	0.00	0.00	-0.36	0.7222
				grupgenom_ABB_parcnu	-0.0004	0.00	0.00	0.00	-0.56	0.5786
b	97	0.5189	0.0092	const	0.6117	0.0371	0.5381	0.6853	16.509	<0.0001
				parcnu	-0.0015	0.0008	-0.0031	0.0001	-1.8302	0.0706
				Cultivar_Baby	-0.113	0.0524	-0.2171	-0.0089	-2.1572	0.0337
				Cultivar_Morado	-0.0343	0.0521	-0.1378	0.0692	-0.6587	0.5118
				Cultivar_Williams	-0.0991	0.0455	-0.1895	-0.0087	-2.1792	0.032
				Cultivar_Baby_parcnu	-0.0013	0.0012	-0.0037	0.001	-1.1506	0.253
				Cultivar_Morado_parcnu	-0.0019	0.0011	-0.0041	0.0004	-1.654	0.1016
				Cultivar_Williams_parcnu	-0.0015	0.001	-0.0035	0.0005	-1.5127	0.1339
b.1	97	0.5289	0.0087	const	0.6117	0.0367	0.5388	0.6845	166.824	<0.0001
				parcnume	-0.0015	0.0008	-0.0031	0.0001	-18.494	0.0676
				mxtres_bbwil	-0.1038	0.0424	-0.188	-0.0197	-24.503	0.0162
				mxtres_Morado	-0.0343	0.0516	-0.1367	0.0681	-0.6656	0.5073
				mxtres_bbwil_parcnu	-0.0015	0.0009	-0.0033	0.0004	-15.509	0.1244
				mxtres_Morado_parcnu	-0.0019	0.0011	-0.0041	0.0004	-16.714	0.0981
c	75	0.4724	0.0083	const	0.5586	0.02	0.51	0.61	22.46	<0.0001
				parcnume	-0.0029	0.00	0.00	0.00	-5.31	<0.0001
				Cultivar_Enano	0.0674	0.04	-0.02	0.15	1.59	0.1164
				Cultivar_Manzano	0.0052	0.04	-0.08	0.09	0.12	0.9026
				Cultivar_Enano_parcnu	-0.0013	0.00	0.00	0.00	-1.39	0.1684
				Cultivar_Manzano_parcnu	0.0009	0.00	0.00	0.00	0.94	0.3516
d	39	0.5903	0.0062	const	0.5338	0.03	0.48	0.59	18.43	<0.0001
				parcnume	-0.0025	0.00	0.00	0.00	-4.09	0.0002
				Cultivar_Filipita	0.0865	0.04	0.00	0.17	2.08	0.0447
				Cultivar_Filipita_parcnu	-0.0014	0.00	0.00	0.00	-1.58	0.1233

Anexo 6. Variable inserción foliar de las musáceas, durante 22 semanas del trasplante (s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj	ECMP	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
s	1138	0.4049	0.0295	const	0.2536	0.0206	0.2132	0.294	123.212	<0.0001
				parcume	0.0003	0.0004	-0.0005	0.0012	0.7344	0.4629
				sdt_9.00	0.2124	0.029	0.1554	0.2693	73.162	<0.0001
				sdt_13.00	0.2623	0.029	0.2053	0.3192	90.389	<0.0001
				sdt_18.00	0.356	0.029	0.2991	0.4129	122.685	<0.0001
				sdt_22.00	0.3791	0.0298	0.3207	0.4375	12.738	<0.0001
				sdt_9.00_parcnu	-0.004	0.0006	-0.0052	-0.0027	-63.237	<0.0001
				sdt_13.00_parcnu	-0.0009	0.0006	-0.0022	0.0003	-14.814	0.1388
				sdt_18.00_parcnu	-0.0012	0.0006	-0.0024	0.000046	-18.893	0.0591
				sdt_22.00_parcnu	-0.0011	0.0006	-0.0023	0.0002	-16.885	0.0916
a	211	0.1589	0.0338	const	0.5678	0.0335	0.5017	0.6338	169.509	<0.0001
				parcnu	-0.0006	0.0007	-0.0021	0.0008	-0.8445	0.3994
				grupgenom_AAB	0.0691	0.0503	-0.03	0.1682	13.743	0.1709
				grupgenom_ABB	0.2296	0.0627	0.1059	0.3533	36.592	0.0003
				grupgenom_AAB_parcnu	-0.0004	0.0011	-0.0026	0.0017	-0.3898	0.6971
				grupgenom_ABB_parcnu	-0.0003	0.0013	-0.0029	0.0024	-0.1907	0.8489
b	97	0.32	0.0305	const	0.5339	0.0666	0.4017	0.6661	80.226	<0.0001
				parcnu	0.0037	0.0015	0.0008	0.0067	25.201	0.0135
				Cultivar_Baby	0.1402	0.0941	-0.0468	0.3272	14.896	0.1399
				Cultivar_Morado	0.1389	0.0936	-0.047	0.3248	14.845	0.1412
				Cultivar_Williams	-0.0676	0.0817	-0.2299	0.0947	-0.8274	0.4102
				Cultivar_Baby_parcnu	-0.0044	0.0021	-0.0085	-0.0002	-20.934	0.0392
				Cultivar_Morado_parcnu	-0.0078	0.002	-0.0118	-0.0037	-38.251	0.0002
				Cultivar_Williams_parcnu	-0.0043	0.0018	-0.0078	-0.0007	-23.725	0.0198
b.1	97	0.1653	0.0337	const	0.5339	0.0737	0.3875	0.6803	72.409	<0.0001
				parcnu	0.0037	0.0016	0.0005	0.007	22.745	0.0252
				mxuno_bbmorwill	0.0397	0.0824	-0.124	0.2034	0.482	0.6309
				mxuno_bbmorwill_parcnu	-0.0053	0.0018	-0.0089	-0.0017	-29.107	0.0045
b.2	97	0.286	0.031	const	0.534	0.068	0.398	0.669	7.83	<0.0001
				parcnu	0.004	0.002	0.001	0.007	2.46	0.0158
				mxdos_Baby	0.14	0.096	-0.051	0.332	1.454	0.1494
				mxdos_morwil	0.003	0.079	-0.154	0.159	0.036	0.9711
				mxdos_Baby_parcnu	-0.004	0.002	-0.009	-0.00012	-2.043	0.0439
				mxdos_morwil_parcnu	-0.005	0.002	-0.009	-0.002	-3.156	0.0022
c	75	0.1008	0.0244	const	0.6694	0.0438	0.5819	0.7568	152.719	<0.0001
				parcume	-0.0013	0.001	-0.0032	0.0007	-13.148	0.1929
				Cultivar_Enano	-0.0387	0.0747	-0.1877	0.1102	-0.5185	0.6058
				Cultivar_Manzano	-0.09	0.0747	-0.2389	0.059	-12.051	0.2323
				Cultivar_Enano_parcnu	-0.0014	0.0016	-0.0046	0.0018	-0.859	0.3933
				Cultivar_Manzano_parcnu	0.0024	0.0016	-0.0008	0.0056	14.995	0.1383
d	39	0.0019	0.0431	const	0.7616	0.0774	0.6044	0.9188	98.364	<0.0001
				parcume	-0.0011	0.0016	-0.0045	0.0022	-0.6843	0.4983
				Cultivar_Filipita	0.0758	0.111	-0.1496	0.3012	0.6827	0.4993
				Cultivar_Filipita_parcume	0.0005	0.0023	-0.0043	0.0052	0.1994	0.8431

Anexo 7. Variable Respuesta fotosintética de las musáceas a una máximo flujo de energía 2000 (μmol de foton/ $\text{m}^2\cdot\text{s}$), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj		Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
a	279	0.13	10.3	const	21.48	0.52	20.46	22.51	41.32	<0.0001
				Parcnum	-0.04	0.01	-0.06	-0.02	-3.41	0.0007
				Gpogenom_AAB	1.11	0.78	-0.43	2.65	1.42	0.158
				Gpogenom_ABB	-0.82	0.83	-2.44	0.81	-0.99	0.3219
				Gpogenom_AAB_Parcnu	-0.02	0.02	-0.06	0.01	-1.43	0.155
Gpogenom_ABB_Parcnu	7.10E-	0.02	-0.04	0.04	0.04	0.9695				
b	117	0.24	10.03	const	20.2	0.96	18.29	22.11	20.97	<0.0001
				Parcn	-0.03	0.02	-0.07	0.01	-1.54	0.1261
				Cultivar_Baby	-0.54	1.41	-3.33	2.25	-0.39	0.7001
				Cultivar_Morado	2.05	1.28	-0.47	4.58	1.61	0.1101
				Cultivar_Willimans	4.17	1.52	1.15	7.19	2.73	0.0073
				Cultivar_Baby_Parcn	-0.01	0.03	-0.07	0.05	-0.24	0.8108
				Cultivar_Morado_Parcn	-0.01	0.03	-0.06	0.05	-0.33	0.7441
Cultivar_Willimans_Parcn	-0.02	0.03	-0.09	0.04	-0.69	0.4895				
c	93	0.3	10.45	const	19.89	1.06	17.78	22.01	18.71	<0.0001
				Parcnu	-0.03	0.02	-0.07	0.02	-1.29	0.2008
				Cultivar_Enano	2.89	1.36	0.18	5.6	2.12	0.0367
				Cultivar_Manzano	5.09	1.5	2.1	8.08	3.39	0.0011
				Cultivar_Enano_Parcnu	-0.04	0.03	-0.1	0.01	-1.52	0.131
Cultivar_Manzano_Parcnu	-0.05	0.03	-0.12	0.01	-1.59	0.1154				
d	69	0.0762	9.0416	const	20.4217	0.8481	18.7279	22.1155	24.0789	<0.0001
				Parcnum	-0.0374	0.0202	-0.0778	0.003	-1.8479	0.0692
				Cultivar_Filipita	0.4766	1.1609	-1.8419	2.7951	0.4106	0.6827
				Cultivar_Filipita_Parcnu	-0.0018	0.0267	-0.0551	0.0516	-0.0659	0.9476

Anexo 8. Variable *Uso eficiente del agua, de las musáceas a una máximo flujo de energía 2000 (μmol de foton/ m^2*s), por grupo genómico AAA, AAB y ABB (a), dentro del grupo genómico AAA (b), dentro del grupo genómico AAB (c) y dentro del grupo genómico ABB (d) a las 22 semanas después del trasplante, bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)*

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj	ECMP	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
a	249	0.022	0.193	const	2.170	0.076	2.021	2.320	28.569	<0.0001
				Parcnu	0.002	0.002	-0.001	0.005	1.209	0.2277
				Gpogenoma_AAB	0.266	0.112	0.045	0.486	2.373	0.0184
				Gpogenoma_ABB	0.202	0.120	-0.034	0.438	1.689	0.0926
				Gpogenoma_AAB_Parcnu	-0.007	0.002	-0.011	-0.002	-2.817	0.0053
				Gpogenoma_ABB_Parcnu	-0.004	0.003	-0.009	0.001	-1.603	0.1103
b	100	0.116	0.227	const	1.626	0.168	1.293	1.958	9.702	<0.0001
				Parcnu	0.013	0.004	0.006	0.020	3.803	0.0003
				Cultivar_Baby	0.682	0.232	0.221	1.142	2.937	0.0042
				Cultivar_Morado	0.610	0.214	0.185	1.035	2.853	0.0053
				Cultivar_Williams	0.816	0.233	0.353	1.280	3.498	0.0007
				Cultivar_Baby_Parcnu	-0.016	0.005	-0.025	-0.006	-3.166	0.0021
				Cultivar_Morado_Parcnu	-0.014	0.005	-0.023	-0.005	-3.178	0.0020
				Cultivar_Williams_Parcnu	-0.014	0.005	-0.024	-0.004	-2.839	0.0056
b.1	100	0.116	0.214	const	1.626	0.168	1.293	1.958	9.699	<0.0001
				Parcnu	0.013	0.004	0.006	0.020	3.802	0.0003
				mxuno_bbmorwill	0.690	0.189	0.315	1.064	3.656	0.0004
				mxuno_bbmorwill_Parcnu	-0.015	0.004	-0.022	-0.007	-3.653	0.0004
b.2	100	0.134	0.216	const	1.626	0.166	1.296	1.955	9.800	<0.0001
				Parcnu	0.013	0.003	0.006	0.020	3.842	0.0002
				mxcuat_bbmor	0.639	0.194	0.253	1.025	3.288	0.0014
				mxcuat_Williams	0.816	0.231	0.358	1.275	3.534	0.0006
				mxcuat_bbmor_Parcnu	-0.015	0.004	-0.023	-0.007	-3.620	0.0005
				mxcuat_Williams_Parcnu	-0.014	0.005	-0.024	-0.004	-2.868	0.0051
c	86	0.1799	0.1514	const	2.2423	0.1266	1.9904	2.4943	17.7094	<0.0001
				Parcnu	-0.0003	0.0027	-0.0057	0.0052	-0.0923	0.9267
				Cultivar_Enano	0.0881	0.1656	-0.2415	0.4176	0.5319	0.5963
				Cultivar_Manzano	0.5620	0.1826	0.1986	0.9254	30.778	0.0029
				Cultivar_Enano_Parcnu	-0.0040	0.0035	-0.0110	0.0030	-11.384	0.2583
				Cultivar_Manzano_Parcnu	-0.0099	0.0039	-0.0176	-0.0022	-25.688	0.0121
c.1	86	0.182	0.143	const	2.804	0.131	2.543	3.066	21.339	<0.0001
				Parcnu	-0.010	0.003	-0.016	-0.005	-3.720	0.0004
				mxuno_curena	-0.509	0.155	-0.817	-0.202	-3.294	0.0015
				mxuno_curena_Parcnu	0.007	0.003	0.001	0.014	2.319	0.0229
d	63	0.010	0.217	const	2.535	0.149	2.237	2.832	17.064	<0.0001
				Parcnu	-0.004	0.003	-0.011	0.002	-1.238	0.2208
				Cultivar_Filipita	-0.270	0.192	-0.654	0.114	-1.407	0.1648
				Cultivar_Filipita_Parcnu	0.003	0.004	-0.005	0.012	0.725	0.4714

Anexo 9: Variable Partición de la materia seca por grupo genómico AAA, AAB y ABB para el cormo (c), follaje (f), hijos (h) y tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj	ECMP	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
c	116	0.63	12145.86	const	365.30	24.86	316.04	414.56	14.70	<0.0001
				parcnu	-3.39	0.54	-4.46	-2.33	-6.32	<0.0001
				Gpogenom_AAB	107.99	39.36	29.99	185.98	2.74	0.0071
				Gpogenom_ABB	348.18	50.61	247.89	448.48	6.88	<0.0001
				Gpogenom_AAB_parcnu	-1.52	0.85	-3.22	0.17	-1.78	0.0775
				Gpogenom_ABB_parcnu	-4.08	1.07	-6.20	-1.97	-3.83	0.0002
f	116	0.53	30898.34	const	852.02	40.17	772.42	931.62	21.21	<0.0001
				parcnu	-6.76	0.87	-8.48	-5.04	-7.79	<0.0001
				Gpogenom_AAB	4.45	63.60	-121.59	130.48	0.07	0.9444
				Gpogenom_ABB	110.49	81.78	-51.58	272.56	1.35	0.1794
				Gpogenom_AAB_parcnu	-0.40	1.38	-3.13	2.34	-0.29	0.7734
				Gpogenom_ABB_parcnu	-1.55	1.72	-4.97	1.86	-0.90	0.3696
h	116	0.89	58262.30	const	496.70	53.35	390.98	602.42	9.31	<0.0001
				parcnu	-6.52	1.15	-8.80	-4.23	-5.66	<0.0001
				Gpogenom_AAB	-117.17	84.46	-284.55	50.22	-1.39	0.1682
				Gpogenom_ABB	2209.37	108.61	1994.13	2424.62	20.34	<0.0001
				Gpogenom_AAB_parcnu	1.18	1.83	-2.46	4.81	0.64	0.5217
				Gpogenom_ABB_parcnu	-18.90	2.29	-23.44	-14.36	-8.26	<0.0001
t	116	0.38	60519.01	const	478.59	56.34	366.93	590.25	8.49	<0.0001
				parcnu	-3.86	1.22	-6.27	-1.44	-3.17	0.0020
				Gpogenom_AAB	198.09	89.21	21.30	374.88	2.22	0.0284
				Gpogenom_ABB	542.53	114.71	315.20	769.87	4.73	<0.0001
				Gpogenom_AAB_parcnu	-2.55	1.94	-6.39	1.29	-1.32	0.1904
				Gpogenom_ABB_parcnu	-5.72	2.42	-10.51	-0.93	-2.37	0.0198

Anexo 10. Variable *partición de materia seca dentro grupo genómicos AAA, para cormo (c), follaje (f), hijos (h), tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)*

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj	ECMP	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
c	59	0.64	6349.43	const	268.90	29.71	209.30	328.50	9.05	<0.0001
				parcnu	-2.32	0.63	-3.59	-1.05	-3.66	0.0006
				Cultivar_Morado	169.47	42.02	85.18	253.75	4.03	0.0002
				Cultivar_Williams	120.83	42.27	36.05	205.62	2.86	0.0061
				Cultivar_Morado_parcnu	-1.62	0.90	-3.42	0.17	-1.81	0.0755
				Cultivar_Williams_parcnu	-1.65	0.92	-3.49	0.20	-1.79	0.0793
f	59	0.52	35176.60	const	901.45	70.35	760.35	1042.56	12.81	<0.0001
				parcnu	-6.07	1.50	-9.08	-3.07	-4.05	0.0002
				Cultivar_Morado	-31.14	99.49	-230.69	168.41	-0.31	0.7555
				Cultivar_Williams	-110.39	100.08	-311.13	90.35	-1.10	0.2750
				Cultivar_Morado_parcnu	-0.98	2.12	-5.23	3.27	-0.46	0.6466
				Cultivar_Williams_parcnu	-1.40	2.18	-5.77	2.97	-0.64	0.5229
h	59	0.62	27367.53	const	275.45	60.95	153.21	397.69	4.52	<0.0001
				parcnu	-3.46	1.30	-6.07	-0.86	-2.67	0.0101
				Cultivar_Morado	388.89	86.19	216.01	561.77	4.51	<0.0001
				Cultivar_Williams	276.98	86.70	103.08	450.89	3.19	0.0024
				Cultivar_Morado_parcnu	-4.98	1.84	-8.66	-1.30	-2.71	0.0090
				Cultivar_Williams_parcnu	-4.28	1.89	-8.06	-0.49	-2.26	0.0277
h. 1	59	0.61	24898.95	const	275.45	61.70	151.80	399.10	4.46	<0.0001
				parcnu	-3.46	1.31	-6.10	-0.83	-2.63	0.0109
				Mxuno_morwil	331.99	75.70	180.28	483.71	4.39	0.0001
				Mxuno_morwil_parcnu	-4.58	1.62	-7.84	-1.33	-2.82	0.0066
t	59	0.76	20106.14	const	530.81	53.85	422.80	638.82	9.86	<0.0001
				parcnu	-4.15	1.15	-6.45	-1.85	-3.62	0.0007
				Cultivar_Morado	299.23	76.16	146.48	451.98	3.93	0.0002
				Cultivar_Williams	-446.99	76.61	-600.64	-293.33	-5.83	<0.0001
				Cultivar_Morado_parcnu	-3.07	1.62	-6.33	0.18	-1.89	0.0637
				Cultivar_Williams_parcnu	3.55	1.67	0.20	6.90	2.13	0.0381
tallo. 1	59	0.10	70588.75	const	530.81	104.57	321.25	740.37	5.08	<0.0001
				parcnu	-4.15	2.23	-8.62	0.31	-1.86	0.0676
				Mxuno_morwil	-77.85	128.31	-334.98	179.28	-0.61	0.5465
				Mxuno_morwil_parcnu	0.42	2.75	-5.09	5.94	0.15	0.8781

Anexo 11. Variable *partición de materia seca dentro grupo genómicos AAB más ABB, para cormo (c), follaje (f), hijos (h), tallos (t), bajo diferentes niveles de sombra natural (8, 25, 50, 75%)*

Inciso	Análisis de regresión lineal			Coeficientes de regresión y estadísticos asociados						
	N	R ² Aj	ECMP	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
c	57	0.655	17.688.322	const	403.640	49.560	304.144	503.135	8.145	<0.0001
				parenu	-3.929	1.109	-6.155	-1.703	-3.543	0.0009
				Cultivar_Enano	138.686	69.663	-1.167	278.540	1.991	0.0519
				Cultivar_Filipita	309.845	70.617	168.075	451.615	4.388	0.0001
				Cultivar_Enano_parcnu	-1.976	1.522	-5.033	1.080	-1.298	0.2000
				Cultivar_Filipita_parcnu	-3.547	1.529	-6.616	-0.478	-2.320	0.0244
f	57	0.603	30.576.977	const	890.599	65.227	759.651	1.021.547	13.654	<0.0001
				parenu	-7.147	1.460	-10.077	-4.216	-4.896	<0.0001
				Cultivar_Enano	-69.711	91.685	-253.776	114.354	-0.760	0.4506
				Cultivar_Filipita	71.914	92.941	-114.673	258.501	0.774	0.4426
				Cultivar_Enano_parcnu	0.103	2.004	-3.920	4.125	0.051	0.9593
				Cultivar_Filipita_parcnu	-1.165	2.012	-5.204	2.874	-0.579	0.5649
h	57	0.901	92.048.706	const	390.060	113.361	162.479	617.642	3.441	0.0012
				parenu	-5.324	2.537	-10.416	-0.231	-2.099	0.0408
				Cultivar_Enano	-21.536	159.344	-341.432	298.359	-0.135	0.8930
				Cultivar_Filipita	2.316.009	161.527	1.991.730	2.640.288	14.338	<0.0001
				Cultivar_Enano_parcnu	0.015	3.482	-6.976	7.006	0.004	0.9966
				Cultivar_Filipita_parcnu	-20.093	3.497	-27.112	-13.073	-5.747	<0.0001
t	57	0.489	59.336.387	const	585.845	91.201	402.751	768.939	6.424	<0.0001
				parenu	-4.829	2.041	-8.926	-0.732	-2.366	0.0218
				Cultivar_Enano	179.839	128.196	-77.524	437.203	1.403	0.1667
				Cultivar_Filipita	435.276	129.952	174.386	696.166	3.350	0.0015
				Cultivar_Enano_parcnu	-3.090	2.802	-8.714	2.534	-1.103	0.2752
				Cultivar_Filipita_parcnu	-4.746	2.813	-10.393	0.902	-1.687	0.0977

Anexo 12. Variable *Peso seco (grs) medio de disco foliar de musáceas en diferente nivel de sombra parcela*

Cultivares	Parcelas			
	8%	25%	50%	75%
Baby (AA)	0.11 (0.03)	0.1 (0.02)	0.08 (0.03)	0.08 (0.02)
Gros Michel (AAA)	0.11 (0.02)	0.11 (0.02)	0.1 (0.02)	0.09 (0.02)
Morado (AAA)	0.12 (0.03)	0.1 (0.02)	0.1 (0.02)	0.09 (0.02)
Williams (AAA)	0.12 (0.03)	0.12 (0.04)	0.1 (0.03)	0.09 (0.03)
Enano (AAB)	0.11 (0.03)	0.1 (0.03)	0.1 (0.02)	0.09 (0.02)
Curaré (AAB)	0.09 (0.01)	0.09 (0.01)	0.08 (0.01)	0.07 (0.01)
Manzano (AAB)	0.11 (0.03)	0.11 (0.02)	0.1 (0.02)	0.09(0.02)
Bluggoe (ABB)	0.12 (0.03)	0.11(0.02)	0.11 (0.03)	0.08 (0.02)
Filipita (ABB)	0.11 (0.02)	0.11 (0.02)	0.1 (0.01)	0.09 (0.01)

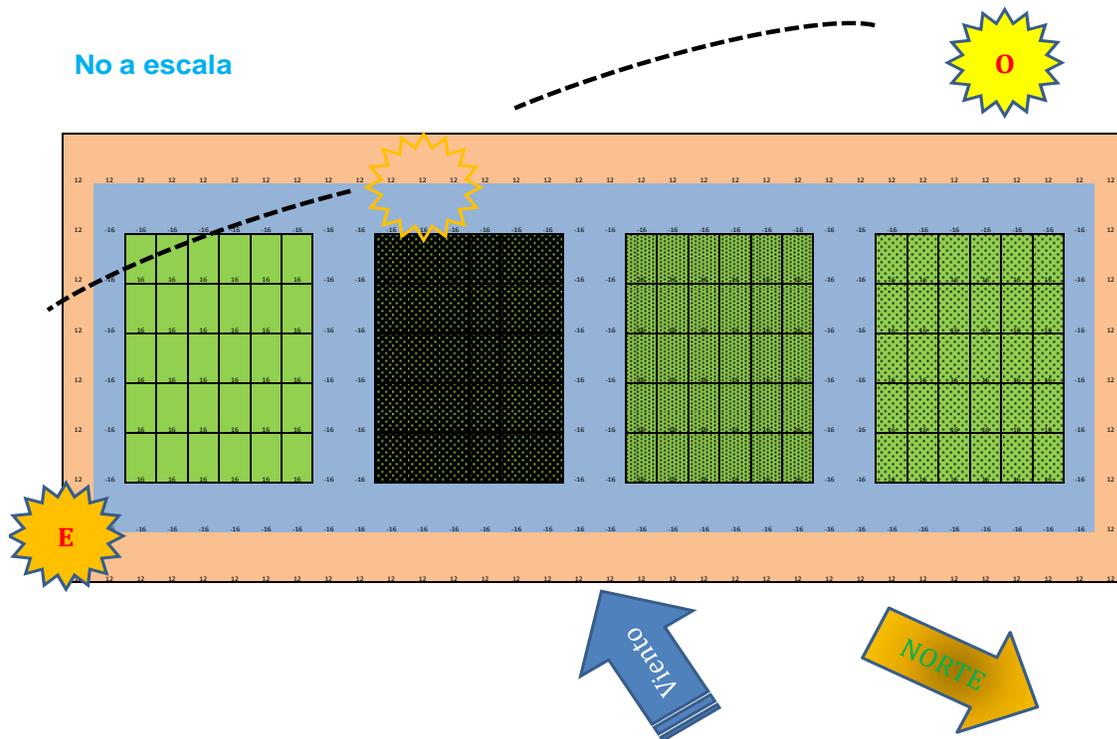
Entre paréntesis Error Estándar

Los valores al cuadro anterior se refieren a las medias de los pesos secos de los discos de la lámina de la hoja, N se refiere al número de observaciones según cultivar en cada tratamiento de sombra. En el caso donde aparecen un mayor número de observaciones, se debe

al hecho de un mayor número de repeticiones según nivel de sombra (Gros Michel, Williams, curaré). Para determinar el peso específico de la lámina de la hoja solamente, se debe de tomar en cuenta que el área de los círculos corresponde a 19,635 cm²,

Anexo 13. Plano de referencia de la alineación de las parcelas experimentales

Léase de izquierda a derecha como: parcela, 8, 75, 50, 25%, de sombra natural.



Los números en la figura indican el color y la textura de la representación de las parcelas, por lo tanto no se debe de relacionar con el diseño del experimento.