

EL MICROCLIMA EN UNA CASA DE SOMBRA: PALMAS Y *Zamia* COMO INDICADORES DE ACLIMATACIÓN A LA LUZ

Marco V. Gutiérrez¹, Kenneth Jiménez², Dagoberto Soto³,
Melvin Alpízar¹, Cristina Chinchilla¹

RESUMEN

El microclima en una casa de sombra: palmas y *Zamia* como indicadores de aclimatación a la luz. Se compararon algunas variables microclimáticas medidas simultáneamente en el interior y en el exterior de una casa de sombra de 720 m², ubicada en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno en Barrio San José de Alajuela (840 msnm), construida con un techo compuesto de materiales de sarán que generaron seis regímenes de luz en el interior (40% a 80%). Se utilizaron además nueve especies de palmas y una especie de *Zamia* como indicadores biológicos de aclimatación a la luz, a las que se les midió el área, el grosor y el contenido foliar de Nitrógeno. Los materiales de sarán cumplieron solo parcialmente con las especificaciones descritas por los fabricantes en cuanto a sus propiedades de intercepción de luz. La temperatura y la humedad relativa del aire en el interior de la casa de sombra no difirieron de los valores registrados en el exterior, lo que sugiere que la modificación de estas variables microclimáticas es importante solo en casas de sarán grandes. En contraste, la temperatura del suelo fue significativamente afectada por el régimen de sombra, lo que resultó en mayores temperaturas absolutas y mayores fluctuaciones diurnas en el suelo expuesto a 40% de intercepción de luz comparado con el de 80%. La distribución espacial de la lluvia también fue alterada significativamente en el interior de la casa de sombra como resultado de la orientación cóncava de la mayoría de los techos. Cuatro de las 10 especies vegetales utilizadas como indicadores de aclimatación a la luz no se establecieron a plena exposición solar, y la mayoría de las especies alcanzaron mayor área foliar a porcentajes de intercepción de luz menores a 70-80%. Se discuten las causas y las implicaciones de los cambios microclimáticos encontrados en las

ABSTRACT

The microclimate of a shadehouse: palms and *Zamia* as indicators of acclimation to light. Shadehouses are one of the most common types of sheltered environments employed in tropical regions. The microclimatic modifications induced by these structures inside the shadehouse, their effects on the plants grown, and the relation between the architectural and functional characteristics of the shadehouses, remain unexplored. We measured the microclimate inside and out of a shadehouse of 720 m², built at the Fabio Baudrit Experiment Station, University of Costa Rica. The roof designed with different shade materials created six light regimes inside the tent. We measured specifically: solar radiation, air temperature and humidity, rainfall spatial distribution, and soil temperature at 5, 10 and 15 cm depth. In addition, we evaluated plant acclimation to different light regimes by growing nine palm and a *Zamia* species under seven light regimes, including the control. The saran materials evaluated in this study complied only partially with the specifications provided by the manufacturers. Air temperature and relative humidity inside the shadehouse did not differ from the outside values, supporting early indications that changes in those variables are important only in large shadehouses. In contrast, soil temperature was significantly affected by the light regimes imposed. Higher values and larger fluctuations of soil temperature were observed at 40% than at 80% shade. Rainfall distribution inside the shadehouse was also significantly modified as a result of the predominantly concave orientation of the saran panels employed in shadehouse construction. Four out of the 10 species used as indicators of acclimation to light were not establish

¹ Programa de Ecofisiología de Plantas Tropicales, Est. Exp. Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica

² Programa de Horticultura Ornamental, Est. Exp. Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica

³ Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Ambiente y Energía, San José, Costa Rica

casas de sombra pequeñas, y se recomiendan modificaciones arquitectónicas de las casas de sombra en función de los propósitos del ambiente protegido.

Palabras clave: ambiente protegido, microclima, palmas, Costa Rica, plantas ornamentales, sarán, sombra, *Zamia*, área foliar, grosor foliar, nitrógeno.

under full sun exposure, and most of the species exhibited their larger leaf area under shade regimes lower than 70-80%. The causes and implications of the environmental features observed inside small shadehouses are discussed, and modifications of the architectural design of shadehouses are proposed.

Keywords: sheltered environment, microclimate, palms, Costa Rica, ornamental plants, saran, shade, shadehouses, *Zamia*, leaf area, leaf thickness, nitrogen.



INTRODUCCIÓN

La casa de sombra constituye uno de los tipos de ambientes protegidos más frecuentemente utilizados en los trópicos con el propósito de reducir el flujo de radiación solar incidente sobre las plantas cultivadas en el interior, y moderar las fluctuaciones diurnas y estacionales de otras variables ambientales. Las casas de sombra son frecuentemente empleadas a gran escala en el cultivo de diferentes plantas ornamentales de exportación (helechos, flores, follajes) y a nivel artesanal como estructuras para la propagación, la aclimatación y la comercialización de plantas.

Aunque existe una amplia gama de materiales recomendados para su construcción, las casas de sombra tropicales son típicamente construidas con materiales porosos de polietileno o polypropileno negro (sarán), que absorben la radiación solar convirtiéndose en una fuente de calor. El tejido fino de los materiales utilizados permite la fácil disipación del calor latente, por lo que se supone que la moderación del ambiente lumínico y térmico en el interior de las casas de sombra constituyen las principales modificaciones microclimáticas favorables inducidas por estas estructuras.

Los escasos estudios microclimáticos realizados han demostrado que en comparación con el am-

biente exterior, el interior de las casas de sombra experimenta un microclima caracterizado por reducciones en la radiación, la evaporación, y la velocidad del viento (Wagonner *et al.* 1959), y que los efectos sobre la temperatura y la humedad del aire son importantes solo en casas de sombra grandes (Graser y Amiro 1991). Estas condiciones ambientales promueven la apertura estomática y reducen el estrés hídrico y la foto-inhibición (Wagonner *et al.* 1959, Long *et al.* 1994), pero pueden limitar la tasa fotosintética y la productividad de las plantas cultivadas en el interior (Wolff y Coltman 1989). Otros efectos perjudiciales del microclima de las casas de sombra están a menudo relacionados con su influencia sobre la duración del humedecimiento de las superficies vegetales y su relación con la diseminación de las enfermedades (Aylor y Taylor 1982). Aunque el incremento en la temperatura y la humedad atmosféricas en el interior de las casas de sombra favorece el desarrollo de muchas especies de plantas, favorece desafortunadamente el desarrollo de muchas enfermedades también.

Es importante por lo tanto caracterizar los cambios microclimáticos inducidos por estas estructuras y sus efectos sobre las plantas cultivadas a nivel local con el objetivo de proponer modificaciones de los diseños actuales que contribuyan al mejoramiento de las condiciones microclimáticas internas. Debido al manejo empírico de los materiales y de la

tecnología disponible para modificar el ambiente agrícola, es recomendable examinar localmente las especificaciones de los fabricantes de los materiales utilizados en la construcción de las casas de sombra y sus efectos sobre las plantas cultivadas.

El objetivo de este estudio fue caracterizar el microclima de una casa de sombra pequeña, diseñada para generar seis niveles de sombra (40 a 80%) en el interior. Específicamente, se midió la radiación solar total y fotosintéticamente activa, la temperatura y la humedad del aire, la temperatura del suelo, y la distribución de la lluvia en el interior de la casa de sombra en comparación con el ambiente exterior. Estas variables ambientales fueron relacionadas con algunas propiedades de las hojas de nueve especies de palmas y una de *Zamia* utilizadas como indicadores biológicos de aclimatación a los microclimas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio del estudio

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno (EEFBM) de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Barrio San José de Alajuela, a 10°01' de latitud norte, 84°16' de longitud oeste y a 840 m de elevación sobre el nivel del mar, durante un periodo comprendido entre el 10 de setiembre de 1996 y el 31 de diciembre de 1998. La EEFBM se ubica dentro de la zona de vida del bosque premontano sub-húmedo, caliente, con una estación seca bien definida. La precipitación anual promedio es de 1939 mm y la temperatura promedio del aire es cercana a los 22°C. Una descripción detallada del clima de la EEFBM puede ser encontrada en Gutiérrez *et al.* (1997).

La casa de sombra estudiada tiene un área de 720 m² con dimensiones de 24 m de ancho y 30 m de largo y fue construida en un terreno con muy poca pendiente. Durante el período de observaciones estaba bordeada por un campo abierto con casas de cedazo y árboles dispersos en el lado norte, un cam-

po de palmas pequeñas (menos de 1 m de altura) en el lado sur, una carretera y un campo de cítricos pequeños (2,5 m de altura) en el lado este, y un campo de árboles de *Spondias purpurea* de 3 m de altura en el lado oeste.

El sarán fue instalado como paneles continuos de 48 ó 96 m² cocidos sobre cables apoyados en postes erectos de 2,5 m de altura, separados entre sí en un patrón de 10 x 8 m. Paneles continuos de sarán también formaban las paredes de la casa. El techo de la casa estaba formado por nueve secciones de paneles de sarán comercial (Polysac Industrias), de las cuales se monitorearon seis, capaces de interceptar seis diferentes porcentajes de la radiación incidente sobre la casa de sombra: a) 40%, b) 50%, c) 60%, d) 70% (negro), e) 70% (plateado), y f) 80%. El interior de la casa de sarán luce como un espacio grande y abierto sin obstáculos apreciables capaces de causar heterogeneidad.

Material vegetal

Nueve especies de palmas (Palmae) y una especie de *Zamia* (Zamiaceae) se desarrollaron en el interior de la casa de sombra durante el transcurso de las observaciones microclimáticas. Las especies estudiadas y sus respectivos nombres comunes fueron: 1) *Caryota urens* (Cola de pez), 2) *Chamaedorea costaricana* (Pacaya), 3) *Chamaedorea tepejilote*, 4) *Chrysalidocarpus lutescens* (Múltiple), 5) *Phoenix roebellini* (Fénix), 6) *Ptychosperma elegans*, 7) *Ryostonea regia* (Palma real), 8) *Veitchia merillii* (Navideña), 9) *Zamia skinneri* (*Zamia*), y 10) *Licuala elegans* (*Licuala*). Con excepción de esta última especie y de *Zamia* que exhibe hojas simples, todas las especies evaluadas tienen hojas compuestas.

En su ambiente natural, *Zamia skinneri* y muchas especies de palmas sobreviven por largos periodos (más de un siglo en el caso de *Zamia*) como miembros de la vegetación del sotobosque, bajo las condiciones más oscuras encontradas en los bosques tropicales (Clark *et al.* 1995; Clark *et al.* 1992). Algunos estudios ecológicos (Clark *et al.* 1995, Cunningham 1997) y agronómicos (Osborne

et al. 1983) también demuestran el alto grado de plasticidad fenotípica y de aclimatación a ambientes lumínicos contrastantes encontrado en las palmas y especies semejantes.

Las plantas de cada especie fueron propagadas por semilla en bolsas de 5 L utilizando una mezcla de suelo, abono orgánico y cascarilla de arroz (1:1:1) como sustrato, colocadas con una separación de 0,2 m entre plantas y de 0,5 m entre hileras sobre paneles plásticos que cubrían el suelo para evitar el enraizamiento de las plantas fuera de sus bolsas. Al inicio de las observaciones en setiembre de 1996, las plantas tenían una edad de 4 meses. Con excepción de la palma real, que sobrepasó los 2,5 m de altura en el interior de la casa de sarán, las otras especies de palmas difícilmente superaron 1,75 m de altura al momento de la conclusión de las observaciones.

La aclimatación de estas especies a los siete ambientes lumínicos evaluados se midió con los siguientes atributos foliares: a) área, b) grosor y c) contenido foliar de nitrógeno, cuya respuesta al régimen de luz ha sido bien caracterizada (Bjorkman 1981, Field 1983).

Mediciones microclimáticas

El microclima en la casa de sombra

1. Radiación solar

Se midió: a) la radiación solar total, y b) la radiación fotosintéticamente activa (RAF), incidentes en el interior de la casa de sombra bajo cada uno de los seis niveles de sombra impuestos, y a plena exposición solar, durante el curso de tres días durante el mes de octubre de 1997. La radiación solar total se midió con un piranómetro (modelo 200SA, Li-Cor). La RAF se midió utilizando un sensor de quantum (modelo Li-190SA, Li-Cor) colocados a 1,75 m sobre el suelo. Ambos sensores fueron operados bajo el control de un almacenador de datos (modelo LI-1000, Li-Cor).

2. Temperatura y humedad relativa del aire

La temperatura y la humedad relativa del aire se midieron utilizando seis higrotermógrafos (modelo 252VA, Wihl.Lambrecht), instalados a una altura de 0,3 m sobre el suelo en el interior de casetas meteorológicas colocadas en el centro del área cubierta por cada uno de los tratamientos de sombra. Las observaciones de temperatura y de humedad relativa se midieron durante cuatro períodos: del 5 setiembre 1996 al 17 noviembre 1996, del 4 marzo 1997 al 21 abril 1997, del 3 octubre 1997 al 18 diciembre 1997 y del 12 mayo 1998 al 12 enero 1999.

3. Temperatura del suelo

Los patrones diurnos de la temperatura del suelo (T_{suelo}) de los tratamientos extremos, 40% y 80% de sombra, se midieron con un par de geotermógrafos (modelo MC-302, SoilTest, Il) con sondas instaladas a 5, 10 y 15 cm de profundidad en el suelo. T_{suelo} fue medida del 4 Marzo al 4 Junio de 1997.

4. Distribución espacial de la lluvia

La distribución de la lluvia en el interior de la casa de sombra se midió mediante la instalación de líneas de seis pluviógrafos registradores (modelo 1507 Wihl.Lambrecht) que muestrearon la precipitación recibida bajo el área cubierta por cada uno de los niveles de sombra. Debido a las limitaciones en el número de pluviómetros disponibles, las mediciones no se realizaron simultáneamente bajo todos los niveles de sombra utilizados. Sin embargo, la variación espacial en la distribución de la lluvia bajo cada tipo de sarán fue medida para un total de al menos 10 aguaceros de magnitud semejante. La precipitación se midió durante el transcurso de la estación lluviosa de 1996 y 1997.

Microclima exterior

La radiación solar, la precipitación, la temperatura y la humedad relativa del aire en el exterior de

la casa de sarán se midieron mediante la operación de una estación meteorológica clásica Tipo A (Gutiérrez *et al.* 1997), establecida aproximadamente 100 m al este de la casa de sombra.

Aclimatación a la luz.

Se evaluó el grado de aclimatación a la luz experimentado por las hojas de las 10 especies indicadoras. Se midió: a) el área foliar de la hoja más joven completamente expandida, b) el grosor foliar en la parte central (hojas simples) o en los folíolos centrales (hojas compuestas) de las mismas hojas, y c) el contenido foliar de nitrógeno.

Las mediciones se realizaron en muestras de tejidos tomados de la parte central de la lámina o de los folíolos centrales provenientes de cinco hojas de cinco plantas diferentes de cada especie, bajo cada uno de los niveles de sombra. El área foliar de las hojas se midió con un medidor de áreas (modelo LI-3100, Li-Cor). El grosor de las hojas se midió con un medidor de grosor desarrollado por la industria japonesa del cuero (Teclock Corporation), con una sensibilidad de ± 1 μm .

El contenido foliar de nitrógeno fue determinado en el Laboratorio de Análisis de Tejidos de la Universidad de Costa Rica, utilizando el método de Micro-Kjeldhal modificado para incluir nitratos (Chapman y Pratt 1982), en muestras de 100 g de tejido foliar provenientes de hojas jóvenes completamente expandidas tomadas de cinco plantas en cada nivel de sombra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El microclima de la casa de sombra

1. Radiación solar

Los porcentajes de intercepción de radiación solar total y de radiación fotosintéticamente activa determinados para los materiales de sarán utilizados

en este estudio coincidieron con las especificaciones descritas por los fabricantes solo en el caso de los materiales instalados para interceptar 50, 60 y 80% de la radiación solar incidente (Fig. 1 y 2). En contraste, el material instalado para interceptar 40% de radiación más bien interceptó 50%, el de 70% plateado interceptó 75-80%, y el de 70% negro interceptó aproximadamente 80-90% de radiación.

Aunque los factores que causaron estas divergencias no fueron determinados en este estudio, los resultados de esta evaluación ilustran la importancia de establecer localmente las características de los materiales utilizados en la construcción de las casas de sombra. Trabajos previos indican que la intercepción de la radiación por parte de los diferentes materiales depende de muchas variables, tales como la construcción de la maya y su orientación horizontal, la tensión aplicada a los materiales que constituyen el techo, el ángulo al que la radiación incide sobre la maya, y la composición espectral de la radiación incidente (Yates 1989).

Los efectos de los diferentes regímenes de luz evaluados sobre el desarrollo de las plantas indicadoras se discute posteriormente.

2. Temperatura y humedad relativa del aire

Aunque se observó que la temperatura del aire en el exterior fue consistentemente mayor que el promedio de las mediciones de la temperatura del aire obtenidas en seis localizaciones en el interior de la casa de sombra (Fig. 3), esta diferencia fue de apenas unas fracciones de grado y estadísticamente no significativa, por lo que se puede concluir que la temperatura del aire en el interior de la casa de sarán no difirió significativamente de la temperatura exterior.

La humedad relativa del aire tampoco mostró diferencias significativas entre el interior y el exterior de la casa de sombra (Fig. 3). Durante el periodo comprendido entre el inicio del estudio y los 230 días de observación se encontró que la humedad re-

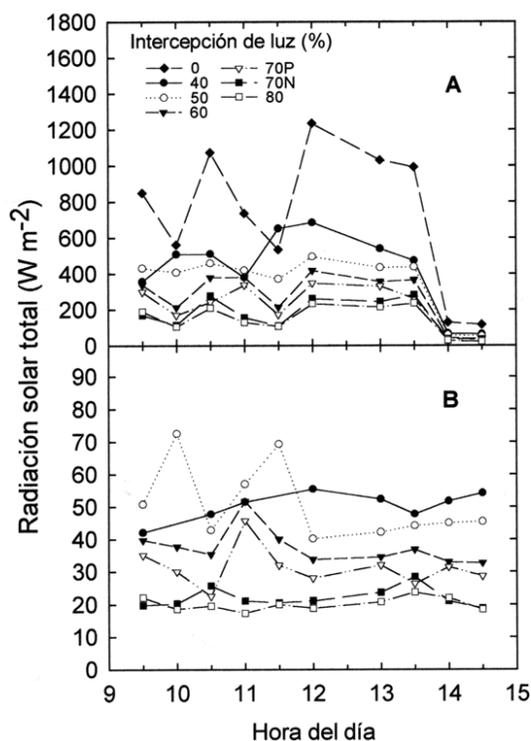


Figura 1. Curso diario de la radiación solar total (A) y porcentaje de intercepción de radiación solar (B) medidos a mediados de Octubre de 1996 en el exterior y en el interior de una casa de sombra, bajo seis niveles de intercepción de luz. Cada valor es el resultado de cinco mediciones puntuales de radiación solar total.

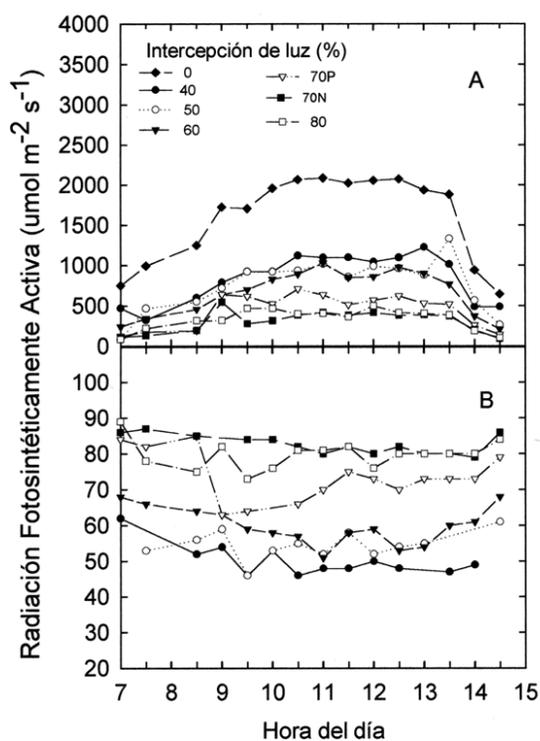


Figura 2. Curso diario de la radiación fotosintéticamente activa (RAF) (A) y porcentaje de intercepción de RAF (B) medidos a mediados de Octubre de 1996 en el exterior y en el interior de una casa de sombra, bajo seis niveles de intercepción de luz. Cada valor es el resultado de cinco mediciones puntuales de RAF.

lativa del aire en el interior fue escasamente mayor que en el exterior, mientras que a partir de los 390 días de observación y hasta los 845, la humedad relativa exterior superó en solo un pequeño porcentaje la humedad relativa interior.

Estas observaciones concuerdan con los resultados obtenidos en otras latitudes (Graser y Amiro 1991), que indican que la temperatura y la humedad relativa del aire en el interior de las casas de sombra solo se desacoplan del ambiente externo en casas grandes. Graser y Amiro (1991) observaron que en una casa de sombra de 3,5 ha (230 x 153 m) el intercambio gaseoso entre el interior y el exterior

cesó entre 8 y 38 m dentro de la casa, lo que resultó en un incremento de 2°C en la temperatura del aire interior. La temperatura del aire se elevó adicionalmente 3,5-4,0 °C entre los 95 y los 154 m dentro de la casa de sombra.

Las observaciones anteriores contrastan con la percepción del microclima en las casas de sarán pequeñas cuando ésta involucra el confort humano. Desde este punto de vista, las condiciones internas en una casa de sombra son tan incómodas como las experimentadas en un ambiente tropical húmedo y caliente. Esto se explica porque los diseños convencionales de las casas de sombra promueven

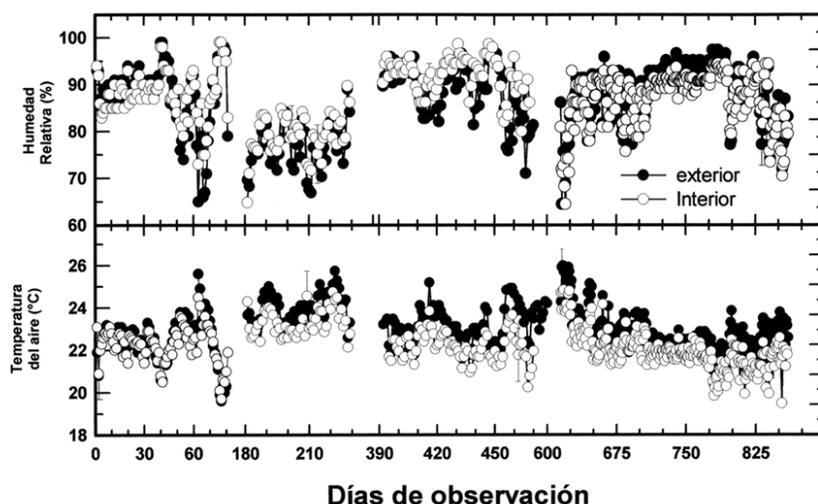


Figura 3. Cambios en la temperatura y la humedad relativa del aire en el interior y en el exterior de una casa de sombra de 720 m², durante un periodo comprendido entre el 10 de setiembre de 1996 y el 31 de diciembre de 1998.

el desarrollo de condiciones microclimáticas caracterizadas por reducciones en la velocidad del viento, bajo las cuales la menor insolación es contrastada por las reducciones en el enfriamiento convectivo y evaporativo en el interior. Por lo tanto, las personas transpiran más dentro que fuera de las casas de sombra para mantener la temperatura del cuerpo constante (Wagonner *et al.* 1958).

3. Temperatura del suelo

Los patrones de temperatura del suelo (T_{suelo}) observados a diferentes profundidades en el interior de la casa de sombra (Fig. 4) son comparables con los observados en trabajos previos conducidos en la EEFBM bajo condiciones climáticas similares (Gutiérrez 1996). Las fluctuaciones en T_{suelo} disminuyeron con la profundidad pero fueron evidentes aún a 15 cm, aunque probablemente desaparecen aproximadamente a 25 cm de profundidad (Gutiérrez 1996). En comparación con el ambiente exterior, los niveles de sombra efectivamente disminuyeron T_{suelo} así como la magnitud de las fluctuaciones diarias de T_{suelo} en el interior de la casa de sombra,

especialmente a porcentajes de interceptación de radiación altos (80%) (Fig. 4).

T_{suelo} fluctuó marcadamente a lo largo del día en las tres profundidades del suelo examinadas, especialmente bajo 40% de sombra (Fig. 4). Estas fluctuaciones fueron mucho más pronunciadas a 5 que a 15 cm de profundidad, por lo que tanto la temperatura mínima (20°C) como la máxima (29°C) se presentaron a 5 cm de profundidad. En contraste, la temperatura mínima y máxima del suelo bajo el tratamiento de 80% de sombra, aunque también se registraron a 5 cm de profundidad, fueron solo 17,5 °C y 23 °C, respectivamente.

Los ciclos diurnos de T_{suelo} observados bajo sombra de 40% fueron similares a los observados a plena exposición solar, pero difirieron significativamente de los observados bajo 80% de sombra. La oscilación diurna de la temperatura del suelo a 5 cm (9-10 °C) fue similar a 40% de sombra y a plena exposición solar, pero esta oscilación fue de sólo 6 °C bajo 80% sombra, con máximos y mínimos semejantes a los observados solo durante días muy nublados (Gutiérrez 1996).

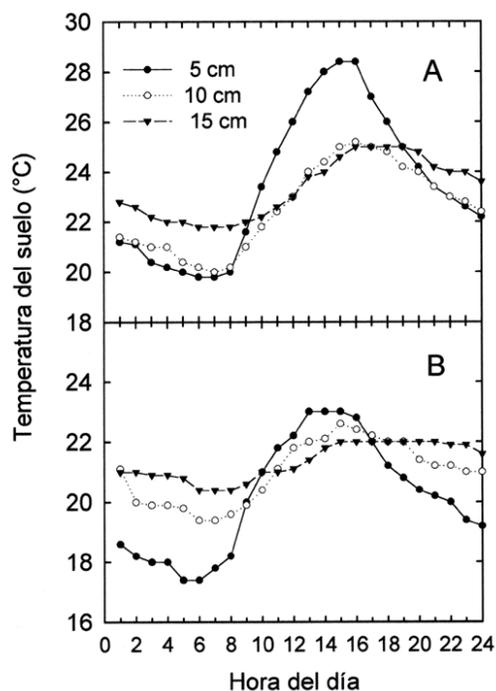


Figura 4. Curso diario de la temperatura del suelo medida a tres profundidades (5, 10 y 15 cm) por debajo de la superficie del suelo, en el interior de una casa de sombra bajo materiales de sarán negro que interceptaron 40% (A) y 80% (B) de la radiación solar incidente, en Marzo de 1997.

Bajo el tratamiento de 40% de sombra y como consecuencia de las marcadas fluctuaciones en T_{suelo} observadas especialmente cerca de la superficie, los valores del promedio diario de T_{suelo} más altos se registraron a 15 cm de profundidad, mientras que los valores más bajos se observaron a 5 cm (Fig. 5). Estas diferencias en el promedio diario de T_{suelo} no fueron tan evidentes bajo 80% sombra, en el que los valores más bajos de T_{suelo} fueron observados a 10 cm de profundidad, pero en realidad fueron solo ligeramente menores que los promedios registrados a 5 y 15 cm de profundidad (Fig. 5).

Bajo condiciones naturales, las fluctuaciones en T_{suelo} similares a las descritas anteriormente han sido implicadas en el control de la latencia y la germinación de las semillas de las malezas (Baskin y

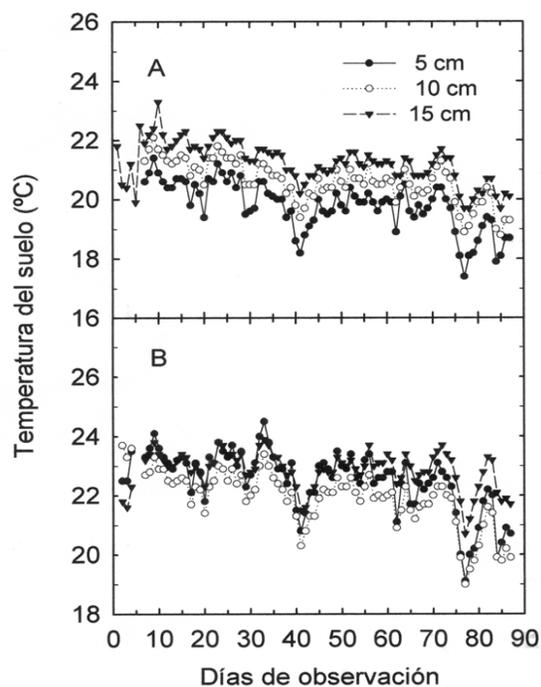


Figura 5. Cambios en la temperatura del suelo promedio medida a tres profundidades durante un periodo de tres meses durante la estación seca de 1997, en el interior de una casa de sombra bajo materiales de sarán negro que interceptaron 40% (A) y 80% (B) de la radiación solar incidente.

Baskin 1985) y en la modificación del crecimiento de las plantas, especialmente a través de sus efectos sobre el funcionamiento de los sistemas radicales, el régimen evaporativo del agua del suelo y de la actividad de los microorganismos del suelo (Wagonner *et al.* 1959).

4. Distribución espacial de la precipitación

En comparación con la distribución relativamente homogénea de la precipitación sobre pequeñas áreas expuestas, la distribución de la lluvia en el interior de la casa de sombra mostró una marcada variación espacial (Fig. 6). Las secciones de la casa de sombra techadas con materiales que produjeron los menores porcentajes de sombra (40 y 50%) mostraron la menor variabilidad espacial en

la distribución interior de la lluvia, mientras que los porcentajes de sombra mayores (60, 70 y 80%) mostraron un importante efecto de canalización de la precipitación, de manera que bajo una misma sección del techo de la casa de sombra y en una distancia menor a 8 m se midieron menos de 20 y más de 350 mm de lluvia (Fig. 6).

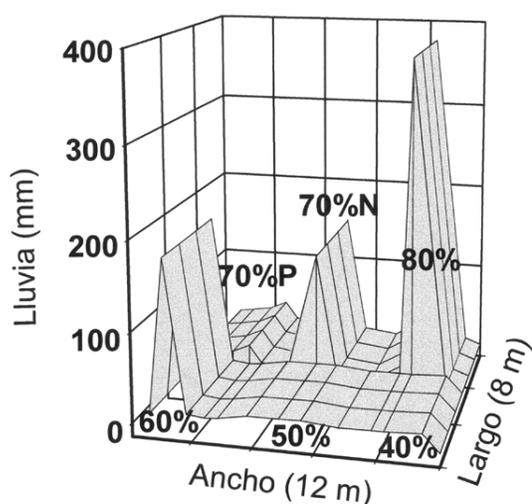


Figura 6. Distribución espacial de la lluvia en el interior de una casa de sombra construida con un techo compuesto por materiales de sarán que interceptan seis niveles diferentes de radiación solar. Cada valor es el promedio de 10 aguaceros medidos bajo cada uno de los seis materiales evaluados.

Esta variación es causada por la canalización de la lluvia hacia las costuras y hacia el centro de cada sección del techo, porque los métodos actuales de tendido del sarán resultan comúnmente en la concavidad de las secciones del techo, y en la producción de un patrón irregular pero predecible de la distribución de la lluvia en el interior de las estructuras (Fig. 6). La intensidad de la precipitación recibida en localizaciones determinadas en el interior de las casas de sombra puede fácilmente conducir a la erosión del suelo, el daño mecánico de las plantas y mayor incidencia de enfermedades causadas

por patógenos cuya dispersión es favorecida por el salpique de las gotas de lluvia.

Se recomienda la implementación de medidas que permitan la canalización controlada de la lluvia hacia el suelo tales como la instalación de guías de drenaje verticales del techo al suelo que contribuyan a canalizar el agua, o la construcción de las casas de sombra con techos inclinados que faciliten el escurrimiento gravitacional del agua.

Aclimatación a la luz

Las 10 especies evaluadas sobrevivieron y se aclimataron a los seis niveles de sombra en el interior de la casa de sombra. Sin embargo, las especies *Chamaedorea tepejilote*, *Licuala elegans* (Licuala), *Veitchia merillii* (Navideña), y *Zamia skinneri* (Zamia) no sobrevivieron fuera de la casa de sarán expuestas a la radiación solar plena (alrededor de $1,000 \text{ W m}^{-2}$ ó $2,000 \text{ umol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ al medio día, Fig. 1 y 2). Estas especies se comportaron como esciófitas obligadas incapaces de tolerar niveles de radiación típicamente encontrados en espacios abiertos sin cobertura vegetal o artificial.

1. Morfología foliar

Se observó una alta diversidad en el área (Fig. 7) y en el grosor (Fig. 8) de las hojas maduras más jóvenes de las 10 especies evaluadas. El área de las hojas maduras varió entre menos de 50 cm^2 en *Licuala* y *Phoenix* hasta más de 600 cm^2 en *Roystonea regia* (palma real). Sin embargo, el desarrollo expansivo de las hojas de todas las especies evaluadas fue restringido cuando las plantas crecieron expuestas a plena exposición solar (0% sombra), lo que resultó en la producción de hojas de sol con reducida área foliar (Fig. 7).

El grosor de las hojas fue inferior a 0,4 mm en *Caryota urens* (cola de pez), *Chrysalidocarpus lutescens* (múltiple), *Chamaedorea costaricana* (pacaya), *Phoenix roebellini* (fénix), *Ptychosperma* sp. (McArthur), *Ryostonea regia* (palma real), y *Veit-*

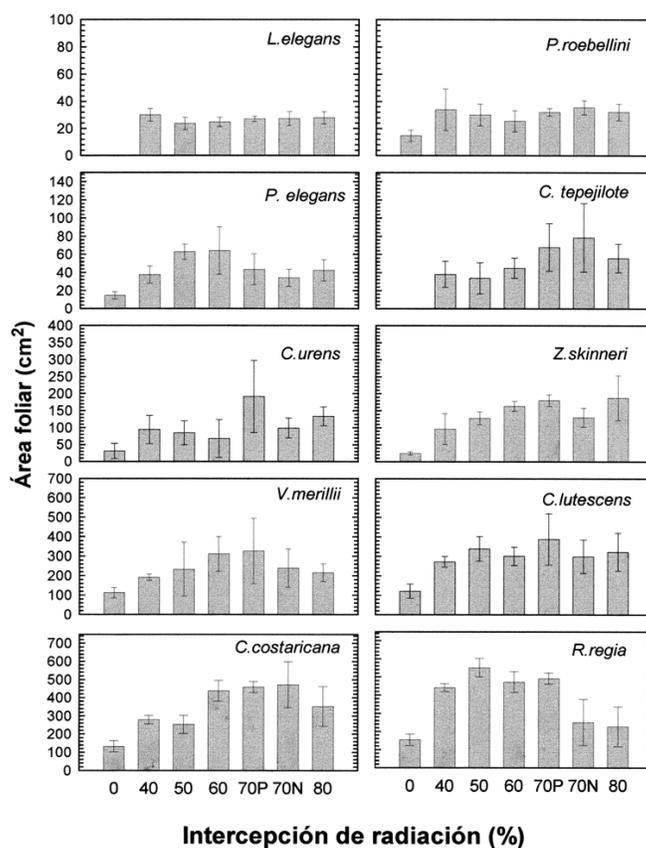


Figura 7. Cambios en el área foliar de nueve especies de palmas y una *Zamia* creciendo a plena exposición solar y en el interior de una casa de sombra diseñada con un techo de sarán capaz de generar seis niveles de sombra en el interior. Cada nivel de sombra es caracterizado como el porcentaje de radiación interceptada proveído por el fabricante.

chia merillii (navideña), mayor a 0,5 mm en *Chamaedorea tepejilote* (pepe) y en *Licuala elegans* (licuala), y alcanzó valores superiores a 1 mm en *Zamia skinneri* (*Zamia*), la especie más tolerante a los niveles de sombra más extremos (80%), comportamiento que contrasta con la generalización de que las hojas de sombra son típicamente más delgadas que las hojas de sol (Bjorkman 1981), pero que es consistente con estudios recientes que indican que el grosor de las hojas varía ampliamente dentro de un mismo habitat y que aunque se observa una tendencia hacia la producción de hojas más gruesas en

ambientes abiertos y soleados, ésta puede no ser significativa (Knapp y Carter 1998).

Las características morfológicas de las hojas maduras de las 10 especies evaluadas mostraron una clara variación en respuesta a los siete diferentes niveles de radiación (Fig. 7 y 8). Con excepción de *Licuala elegans* y de *Phoenix roebellinii*, que mostraron estadísticamente la misma área foliar bajo todos los ambientes evaluados, el área de la hoja más joven completamente expandida se incrementó con el grado de intercepción de luz hasta alcanzar

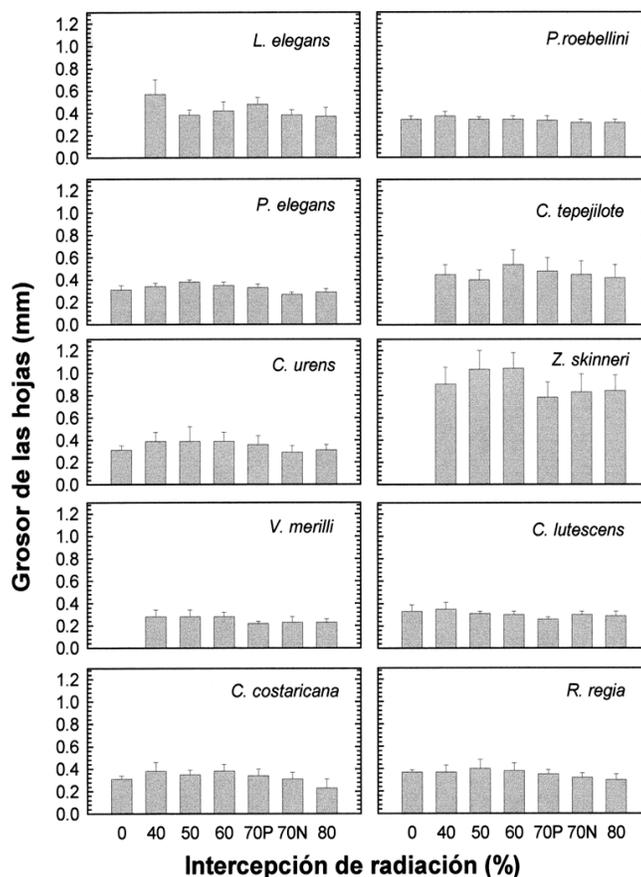


Figura 8. Cambios en el grosor de las hojas de nueve especies de palmas y una *Zamia* creciendo a plena exposición solar y en el interior de una casa de sombra diseñada con un techo de sarán capaz de generar seis niveles de sombra en el interior. Cada nivel de sombra es caracterizado como el porcentaje de radiación interceptada.

valores máximos entre 50 y 70% en la mayoría de las especies. Estas condiciones ambientales se asemejan pero son probablemente menos severas que las encontradas en los sotobosques de los que estas especies fueron extraídas para su domesticación y coincide con los informes que señalan que *Zamia skinnerii* se desarrolla satisfactoriamente en los ambientes más sombríos de los bosques húmedos (Clark *et al.* 1992). Con excepción de esta última especie, las hojas producidas por las nueve especies

restantes bajo la intercepción de luz de 80% fueron más pequeñas que las producidas en regímenes de sombra menos severos.

La producción comercial de plantas para la extracción de follaje depende inicialmente de su establecimiento y crecimiento fuera de su ambiente natural. Materiales capaces de interceptar porcentajes moderados de radiación (50%) fueron suficientes para reducir el riesgo de la fotoinhibición y la

muerte de las palmas, sin sacrificar excesivamente el crecimiento, que depende últimamente de la intercepción de la RAF en las hojas. Sin embargo, en situaciones en que los requisitos de calidad comercial del follaje requieren la producción de hojas más grandes y verdes, materiales capaces de interceptar mayores porcentajes de la RAF son entonces recomendados.

La variación observada en el grosor de las hojas de una misma especie obtenidas de los diferentes tratamientos de intercepción de radiación fue menor que la variación en el área de las mismas hojas, aunque una tendencia ligeramente parabólica en la respuesta del grosor de las hojas a niveles crecientes de sombra fue observada para la mayoría de las especies evaluadas (Fig. 8). Con excepción de *Zamia skinnerii*, todas las especies evaluadas produjeron hojas más gruesas a menores porcentajes de intercepción de luz. Estos resultados indican que el grosor foliar es un indicador menos sensitivo que el área foliar a los cambios en el régimen lumínico.

2. Nitrógeno foliar

Los resultados de este estudio no mostraron ninguna relación entre el contenido foliar de nitrógeno y los regímenes de luz (Cuadro 1), pero al menos ofrecen información acerca del rango de valores de contenido de N que puede encontrarse en hojas aparentemente sanas creciendo en un ambiente común excepto por su régimen de luz.

Estos resultados son inesperados porque el nitrógeno en las plantas es un recurso móvil fácilmente translocable desde las hojas sombreadas hacia las hojas de sol más expuestas del dosel. Además, como parte de su proceso de aclimatación a la sombra, las plantas C3 continuamente retranslocan una cantidad significativa de nitrógeno a las hojas más jóvenes, el cual es invertido mayormente en los cloroplastos (clorofila y RuBisCO, por ejemplo) y resulta en un incremento de la tasa fotosintética (Field 1983).

Conclusiones y Recomendaciones:

Los resultados y la discusión anteriores permiten concluir que la protección del ambiente con fines agrícolas mediante la construcción de casas de sombra es efectivo en la modificación del microclima interior en relación con el exterior, pero la magnitud de estos cambios depende de la ubicación, del diseño y primordialmente del tamaño de las casas de sombra.

Estas modificaciones ambientales incluyen la reducción de la cantidad (sin cambios en la calidad) de la radiación incidente en el interior, de la evaporación, y de la velocidad del viento. En las casas de sarán grandes también se registran incrementos significativos de la temperatura y la humedad relativa del aire. Adicionalmente, la distribución espacial de la precipitación en el interior de las casas de sombra en comparación con el ambiente externo es modificada por la construcción de los techos, constituidos por paneles cóncavos de materiales porosos y flexibles.

Además de los efectos puramente físicos debidos a la naturaleza de estas barreras porosas que restringen el flujo libre del aire, los materiales como el sarán negro producen sombra porque absorben la radiación solar incidente, que debe ser luego disipada como calor sensible. Esto causa el desarrollo de un gradiente de temperatura en el interior de la casa de sombra, en el que el sarán se calienta más que el suelo, generando una inversión de temperatura que dificulta aún más la salida del aire caliente. Este efecto se exagera en casas de sarán grandes en las que la velocidad del viento es amortiguada con la distancia dentro del ambiente protegido. Aunque los problemas de calentamiento podrían aparentemente solucionarse mediante el uso de materiales reflectivos, éstos pueden reflejar más radiación hacia el interior de la casa, requiriéndose entonces del uso de materiales más finos que a su vez aumentan los problemas físicos para la circulación del aire.

Cuadro 1. Contenido foliar de Nitrógeno (%) en las hojas más jóvenes completamente expandidas de nueve especies de palmas y una de *Zamia* creciendo bajo siete niveles de luz expresados como % de intercepción. Cada valor es el resultado de una muestra compuesta de cinco hojas de cinco plantas de cada especie, bajo cada uno de los tratamientos evaluados.

Especie	Intercepción de luz (%)						
	0	40	50	60	70P	70N	80
<i>Licuala elegans</i>	—	1,69	1,53	1,72	1,41	1,49	1,61
<i>Phoenix roebellini</i>	1,82	2,28	2,35	2,64	2,22	2,42	2,23
<i>Ptychosperma elegans</i>	—	1,63	1,39	2,10	1,61	1,60	0,95
<i>Chamaedorea tepejilote</i>	—	3,39	2,82	1,91	0,86	1,83	2,58
<i>Caryota urens</i>	2,18	2,64	2,58	2,33	2,79	3,03	2,75
<i>Zamia skinneri</i>	—	2,27	2,16	1,90	2,00	2,39	1,98
<i>Veitchia verilli</i>	1,87	1,07	2,07	2,90	2,68	2,32	2,50
<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	1,52	2,81	1,50	1,46	1,59	1,67	1,90
<i>Chamaedorea costaricana</i>	2,76	3,31	2,68	2,04	2,71	3,18	2,99
<i>Roystonea regia</i>	—	1,48	1,77	1,86	1,42	1,53	1,74

Conforme el intercambio gaseoso es limitado, la concentración de algunos gases como el vapor de agua se incrementa en el interior, favoreciendo el desarrollo de muchas plantas, pero desafortunadamente de muchas enfermedades también. Sin embargo, si las plantas cultivadas se desarrollan bien sin un microclima modificado excepto en su régimen de radiación, entonces los diseños de las casas de sombra deben ser planeados para permitir buen flujo de aire, lo cual puede conseguirse de varias maneras:

- 1) construyendo aguilonos en el techo,
- 2) dejando espacios (de al menos 1 m) a lo largo de la base y en la parte superior de las paredes laterales,
- 3) construyendo las casas de sombra en lugares expuestos y ventosos,
- 4) construyendo las casas de sombra en pendientes donde la circulación del aire hacia arriba y hacia abajo cause intercambio adicional de aire,
- 5) construyendo casas de sombra pequeñas para facilitar la penetración de aire por los costados, y
- 6) construyendo casas de formas rectangulares (largas y angostas) y no casas cuadradas.

La implementación de algunas de estas medidas dependerá de la consideración de las ventajas y las desventajas derivadas de su uso bajo circunstancias dadas. Por ejemplo, aunque la presencia de espacios abiertos a lo largo de las paredes laterales de las casas de sombra (punto 2 anterior) puede mejorar la circulación del aire, puede simultáneamente facilitar la entrada de herbívoros y patógenos al interior del ambiente protegido y favorecer la deshidratación de las plantas debido a la falta de uniformidad en la aplicación del agua de riego.

Es evidente el espacio disponible para realizar investigaciones que puedan resultar en el diseño de casas de sarán de bajo costo y que funcionen bien.

Agradecimiento:

Se agradece al Ing. Guillermo Murillo (Polysac Plastic Industries) la donación de los materiales de sarán para la construcción de la casa de sombra. Al Dr. Bryan Amiro por su asesoría. Al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica por realizar los análisis de nitrógeno foliar como parte de su programa de apoyo a la inves-

tigación realizada por estudiantes de Fitotecnia; al M.Sc. Hugo Herrera y al Instituto Meteorológico Nacional por el préstamo de los geotermógrafos, y al personal de campo del Programa de Ornamentales de la EEFBM por el mantenimiento de las plantas.

LITERATURA CITADA

- AYLOR, D.E.; TAYLOR, G.S. 1982. Aerial dispersal and drying of *Peronospora tabacina* conidia in tobacco shade tents. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 79:697-700.
- BASKIN, J.M.; BASKIN, C.C. 1985. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: A continuum. BioScience 35:492-498.
- BJORKMAN, O. 1981. Responses to different quantum flux densities. In: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B. y Ziegler, H. (eds.). Encyclopedia of Plant Physiology. New Series Vol. 12A. Physiological Plant Ecology. I. Responses to the physical and chemical environment. Berlín, Springer-Verlag. p. 57-81.
- CHAPMAN, H.D.; PRATT, P.F. 1982. Methods of analysis for soils, plants and waters. Univ. of California, Div. Agricultural Sciences. Publication No. 4034. 309 p.
- CLARK, D.B.; CLARK, D.A.; GRAYUM, M.H. 1992. Leaf demography of a neotropical rain forest cycad, *Zamia skinneri* (Zamiaceae). Amer. J. Bot. 79:28-33.
- CLARK, D.A.; CLARK, D.B.; SANDOVAL, R.; CASTRO, M.V. 1995. Edaphic and human effects on the landscape-scale distribution of tropical rain forest palms. Ecology 76:2581-2594.
- CUNNINGHAM, S. A. 1997. The effect of light environment, leaf area, and stored carbohydrates on inflorescence production by a rain forest understory palm. Oecologia 111:36-44.
- FIELD, C. 1983. Allocating leaf nitrogen for the maximization of carbon gain: Leaf age as a control on the allocation program. Oecologia 56:341-347.
- GUTIÉRREZ, M.V. 1996. Temperatura de un suelo solarizado durante la transición estación seca – estación lluviosa en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. BOLTEC (C.R.) 29:76-85.
- GUTIÉRREZ, M.V.; SOTO, D.; ALPÍZAR, M. 1997. Cuarenta años de observaciones meteorológicas en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. BOLTEC (C.R.) 30:1-14.
- GRASER, E.A.; AMIRO, B.D. 1991. Microclimate and turbulent exchange within Hawaiian shadehouses. In: American Meteorological Society, 20th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, Sept. 10-13, Salt Lake City, Utah. p. 46-49.
- HOLDRIDGE, L. 1982. Ecología, basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- KNAPP, A.K.; CARTER, G.A. 1998. Variability in leaf optical properties among 26 species from a broad range of habitats. Amer. J. Bot. 85: 940-946.
- LONG, S.P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P.G. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol. 45:633-662.
- OSBORNE, L.S.; CHASE, A.R.; BURCH, D.G. 1983. Chamaedorea palms. Foliage Digest 6(12):1-4.
- WAGONNER, P.E.; PACK, A.B.; REIFSNYDER, W.E. 1959. The climate of shade; a tobacco tent and a forest stand compared to open fields. New Haven. Connecticut Agricultural Experiment Station. Bulletin 626. 39 p.
- WOLFF, X.Y.; COLTMAN, R.R. 1989. Productivity under shade in Hawaii of five crops grown as vegetables in the tropics. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:175-181.
- YATES, D.J. 1989. Shade factors of a range of shade cloth materials. Acta Hort. 257:210-217.