



ASOCIACIÓN MICORRÍZICA ARBUSCULAR EN
Coccothrinax readii Quero

[ARBUSCULAR MYCORRHIZAL ASSOCIATION IN
Coccothrinax readii Quero]

G. Polanco^{1*}, L. Carrillo¹, C. Espadas¹, C. Reyes-García¹,
P. Guadarrama² and R. Orellana¹

¹ Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Calle 43 No. 130, Colonia Chuburná de Hidalgo, CP 97200, Mérida, Yucatán, México.

E-mail: hijuelo@hotmail.com

² Facultad de Ciencias. Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI-Sisal), Puerto de abrigo S/N. CP97355.

Sisal Mpo. Hunucmá, Yucatán, México.

*Corresponding author

SUMMARY

Coccothrinax readii, is a palm endemic to the Yucatan coast, its successful establishment in stressful environments suggests that factors such as mycorrhizal association may determine its success, the question arose in this work, assess environmental conditions which states and to describe their particular characteristics related to the anatomy of their roots and mycorrhizal colonization in three different seasons over a year. The study site was the coastal dune scrub of San Benito, Yucatan, where he placed a data logger that measurements performed ambient temperature (T), relative humidity (HR) and photosynthetic photon flux (PPF) for five days in dry, rainy and windy, also determined the total phosphorus and extractable of the soil. The results indicate significant fluctuations of environmental variables throughout the year, on the other hand, the presence of the velamen on the roots of *C. readii* not restrict arbuscular mycorrhizal colonization. This association is affected by microenvironmental conditions, as during the dry season, when environmental conditions are unfavorable, the colonization percentage is higher than in the windy season, when microenvironmental conditions are more favorable.

Key words: Arbuscular mycorrhizae; mycorrhizal colonization; photosynthetic photon flux; velamen.

RESUMEN

Coccothrinax readii es una palmera endémica de las costas de Yucatán y Quintana Roo. Su sobrevivencia en ambientes estresantes hace suponer que factores como la asociación con hongos micorrizógenos (HM) pueden determinar su éxito. El objetivo de este trabajo fue evaluar si las condiciones ambientales donde se establece, así como características relacionadas con la anatomía de sus raíces, están relacionadas con la colonización por HMA en tres diferentes épocas a lo largo de un año. El sitio de estudio fue el matorral de duna costera de San Benito, Yucatán, donde se midieron la temperatura del ambiente (T), humedad relativa del aire (HR) y el flujo de fotones para la fotosíntesis (FFF) durante cinco días en secas, lluvias y nortes. Asimismo se determinó la concentración de fósforo total y extraíble del suelo. Los resultados indican fluctuaciones importantes de las variables ambientales a lo largo del año, y que la presencia de velamen en las raíces de *C. readii* no restringe la colonización micorrízica arbuscular. Esta asociación se encuentra afectada por las condiciones microambientales, ya que durante la época de sequía, temporada en que las condiciones ambientales son más desfavorables, el porcentaje de colonización es mayor que en la época de nortes, cuando las condiciones microambientales son más favorables.

Palabras clave: Micorriza arbuscular; colonización micorrízica; flujo de fotones para la fotosíntesis; velamen.

INTRODUCCIÓN

Coccothrinax readii es una palmera endémica de la península de Yucatán. Se desarrolla en el matorral de dunas costeras, la selva baja subperennifolia y la selva mediana subcaducifolia (Quero y Flores,

2004), y tiene una gran importancia estructural en las comunidades en donde se encuentra desde el centro hasta el oriente del Estado (Torres *et al.* 2010). Sus funciones incluyen actuar como barrera de protección a la acción de vientos, mareas, tormentas y huracanes, evitando así la erosión,

contribuir a la formación de suelo mediante la acumulación de arena por medio de sus raíces y de la materia orgánica de su follaje, y proveer refugio a numerosas especies de insectos, reptiles, aves y pequeños mamíferos (Orellana 1999; Torres *et al.* 2010). Tiene también un valor comercial ya que es una especie de ornato (Durán *et al.* 2007).

En la duna costera, *C. readii* se encuentra sometida a numerosas variables ambientales, en donde las variables del suelo, particularmente la baja disponibilidad de agua y de fósforo del suelo están estrechamente relacionadas con el incremento del porcentaje de colonización por HMA (Smith & Read, 2008), pero existen otras variables que son limitantes en el matorral de duna costera, como el flujo de fotones para la fotosíntesis (FFF), el déficit de presión de vapor, la humedad relativa del aire y la temperatura, las cuales, afectan directamente el funcionamiento vegetal y posiblemente pudieran estar relacionados con la colonización de las plantas por los HMA.

Durante la época de sequía *C. readii* está sometida a una alta intensidad lumínica, elevada temperatura del aire y una humedad relativa del aire más estresante ($1350.3 \pm 356 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 31.15 ± 4.59 °C, 46.98 ± 22.62 %, respectivamente), en comparación con la época lluviosa ($860 \pm 160 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luminosidad, 25.96 ± 2.25 °C de temperatura y 93.58 ± 2.92 % de humedad relativa del aire) (Polanco, 2008). Ante la baja disponibilidad de agua y la elevada temperatura, esta especie ha desarrollado una rizodermis especializada, denominada velamen (Tomlinson, 1990), que sirve de almacenamiento de agua cuando es la época de lluvia. Durante la época de sequía, almacena aire, el cual sirve de aislante, para la temperatura, sin embargo, en nuestra especie de estudio, se observó que el velamen no actúa como una barrera mecánica para los microorganismos del suelo (Granados-Sanchez *et al.*, 2003; Ceja-Romero *et al.*, 2008).

También se ha observado, que en el matorral de duna costera, esta especie se establece en sitios en donde el suelo tiene una elevada concentración de sodio y bajas concentraciones de potasio y calcio (Ayora y Orellana, 1993); sin embargo, en el tejido foliar la concentración de potasio y fósforo son más elevadas que a nivel del suelo (Quintal, 2003), por lo que se puede inferir que presenta mecanismos eficientes para la absorción de estos elementos,

como la asociación con los HMA (Smith & Read, 2008; Peroza y Pérez, 2010).

El objetivo de este trabajo fue evaluar si las condiciones ambientales donde se establece, así como características relacionadas con la anatomía de sus raíces, están relacionadas con la colonización por HMA en tres diferentes épocas a lo largo de un año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Muestreo

El matorral de duna costera de San Benito se localiza aproximadamente en el km 20 de la carretera Progreso-Telchac Puerto y se ubica geográficamente en las coordenadas $21^{\circ} 19' 21.02''$ N y $89^{\circ} 26' 48.45''$ O (Figura 1). El clima en la región es del tipo BSo(h')w w', cálido (el más seco de los semiáridos), con lluvias en verano y canícula, es decir, en la temporada lluviosa del verano hay una disminución en la cantidad de lluvia. Presenta una temperatura promedio anual de 26 °C y una precipitación promedio anual aproximada de 450 mm (García, 2004).

En el sitio se pueden reconocer tres temporadas climáticas en el año. En la época de nortes (febrero), hay una sequía relativa, con baja precipitación (máximo promedio de 54 mm) y muy baja temperatura promedio (máximo 22°C). En la temporada de sequía (mayo) la precipitación y la temperatura incrementan, llegando en promedio a 58mm en promedio y pudiendo alcanzar hasta 45°C de temperatura máxima. Finalmente, en septiembre, en es el final de la canícula, se puede distinguir una temporada de lluvias alcanzando en ese mes hasta 214 mm de precipitación y una temperatura máxima de 36°C (Orellana *et al.* 2009).

Las especies más abundantes en este tipo de vegetación son: bab-ki (*Agave angustifolia* Haw), la uva de mar (*Coccoloba uvifera* L., L.), el nakax (*Coccothrinax readii*), la palma chit (*Thrinax radiata*), el nopal (*Opuntia dillenii* Ker Gawl), los cactus *Acanthocereus tetragonus* L., Hummelinck. y *Selenicereus donkelaari* (Salm-Dyck) Britt & Rose, lirios (*Hymenocallis caribaea* L. e *Hymenocallis littoralis* Jacq., Salisb.), el chechem (*Metopium brownei* (Jacq) Urban.), mangle negro (*Avicennia germinans* L., Stearn.) y el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus* L.) (Flores, 1992; Chan *et al.*, 2002, Torres *et al.*, 2010).

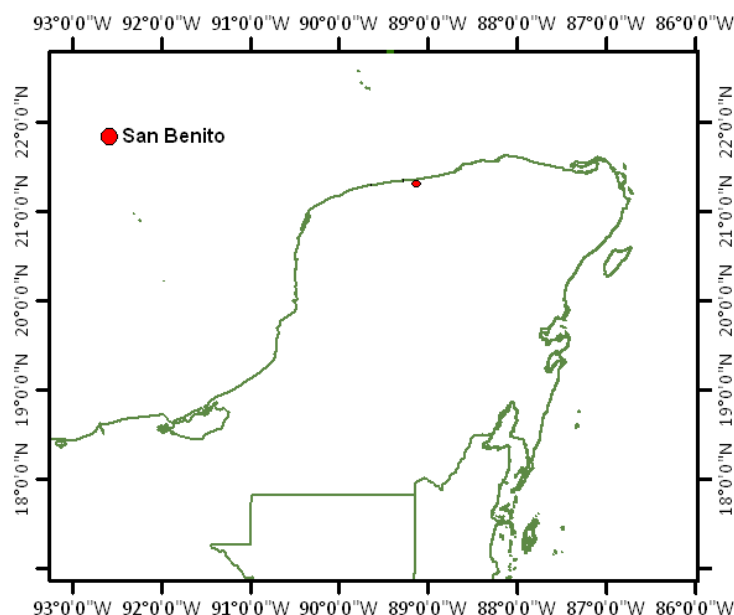


Figura 1. Ubicación del matorral de duna costera de San Benito, Yucatán.

Descripción de la especie

Coccothrinax readii Quero, es una palmera solitaria, de 1 a 4 m de alto cuya característica distintiva de sus hojas es el color verde oscuro en el haz y plateado en el envés esto último debido a la presencia de una densa capa de tricomas. Se le puede encontrar en las etapas de floración y fructificación de agosto hasta octubre. Los frutos son redondos de color negro-púrpura en la madurez y son dispersados principalmente por aves y escarabajos (Quero y Flores, 2004). Las raíces, de acuerdo con Tomlinson (1999), tienen como característica distintiva a nivel de género la presencia de un velamen o engrosamiento por capas de células de la epidermis, el cual no se presenta en otros grupos de palmeras. Es utilizada como ornato para interiores o jardines (Durán *et al.* 2007).

Muestreo en campo

El estudio se llevó a cabo en San Benito, Yucatán donde la densidad relativa de *Coccothrinax readii* corresponde al 28 % de la vegetación en un área de 25 m² (Torres *et al.* 2010). En un claro en esta vegetación, el cual tenía aproximadamente 4 m de diámetro, se seleccionaron 10 individuos que se encontraban a la orilla. Estos ejemplares eran de la misma cohorte, es decir, se encontraban en la etapa juvenil (presentaban un tallo bien desarrollado y al menos una hoja palmada) con un promedio de 50±4 cm de altura. Estos individuos se monitorearon a lo largo de un año, en las tres épocas marcadas: sequía (mayo 2010), lluvia (septiembre de 2009) y nortes (febrero, 2010). A lo largo del ciclo anual, se caracterizó el microambiente, además de que en cada individuo se tomaron muestras de raíz (para

análisis de velamen y colonización de HMA) y del suelo rizosférico, esta colecta se describe con más detalle posteriormente.

Caracterización microambiental

En la zona de estudio se ubicó un claro dentro de la vegetación de duna costera y por encima de la copa de los individuos muestreados, a una altura aproximada de 1.5 m se colocó un registrador de datos (data logger ONSET, modelo HOBO U12-012, Pocasset, Massachusetts) y se realizaron lecturas durante cada una de las diferentes épocas del año (secas, lluvias y nortes). Las mediciones se realizaron cada cinco minutos (desde las 6 am hasta 8 pm) por un lapso de cinco días y los parámetros considerados fueron: temperatura del ambiente (T), humedad relativa del aire (HR) y flujo de fotones para la fotosíntesis (FFF). Con los datos de temperatura y porcentaje de humedad relativa se calculó el déficit de presión de vapor (DPV) (Nobel, 1991):

$$DPV = 0.61375 \cdot \exp(17.502 \cdot T / (240.97 + T)) - H / 100 \cdot 0.61375 \cdot \exp(17.502 \cdot T / (240.97 + T))$$

Dónde: T, es la temperatura del aire y H es la humedad relativa del aire.

Aunado a lo anterior, bajo el dosel de las palmeras muestreadas, se colectaron 50 g del suelo rizosférico superficial (15 cm de profundidad) eliminando la hojarasca u otros materiales, y posteriormente se analizó el fósforo total, el extraíble por las plantas y el no extraíble. Estos parámetros se analizaron en cada época del año, para el fósforo extraíble se utilizó el método de

Olsen *et al.* (1954) y para el fósforo total se empleó la técnica del Molibdato de sodio con p-metilaminofenol sulfato.

Anatomía del velamen

Se colectaron pequeños fragmentos de raíz de 10 cm de longitud de cada uno de los diez individuos muestreados, en cada época del año. Se fijaron con alcohol glicerinado, en proporción 70:29:1 (alcohol etílico:agua destilada:glicerina). Posteriormente se siguió la técnica de inclusión en resina, utilizando una resina acrílica de Polysciences, Inc. (JB-4 embedding kit). Se lavaron y deshidrataron las muestras de raíz, mediante una serie de concentraciones progresivas de alcohol etílico (30%, 50%, 70%, 90% y 100%) durante 45 min, en la última concentración se realizaron dos inmersiones. Posteriormente, se colocó cada muestra en una mezcla 50-50 de alcohol absoluto-resina por 48 horas, para que se llevara a cabo la saturación. Estas muestras, fueron retiradas del contenedor y colocadas en una posición vertical en moldes de plástico, se vertió resina pura y se dejó solidificar por tres o cuatro días. Posteriormente, se realizaron los cortes transversales, mediante un microtomo de rotación (marca Leica, modelo RM2125, Heidelberg, Alemania). Los cortes realizados, se colocaron en un baño de flotación (60°C) con 100 ml de agua destilada y 1 g de grenetina, para extender y fijar las muestras en el portaobjetos. Los portaobjetos con las muestras fueron secados en una estufa a 30° C durante 10 min y posteriormente, fueron teñidos con azul de toluidina al 1% en agua, durante 30 seg. Estas muestras fueron montadas con resina polymount y selladas con barniz de uñas (Sandoval, 2005). Se realizaron las observaciones al microscopio óptico (marca Leica) con el aumento 10X y 40X, se cuantificó el número de capas de las células epidérmicas de la raíz de un corte transversal y el diámetro de diez células epidérmicas, de las diez réplicas de los individuos muestreados, teniendo un total de diez cortes transversales y 100 células para cada individuo.

HMA (hongos micorrízicos arbusculares)

Se realizaron colectas de puntas de raíz de 8 cm de longitud, de cada uno de los diez individuos seleccionados en las diferentes épocas del año consideradas (secas, lluvias y nortes). Las raíces fueron fijadas en alcohol glicerinado en una proporción 70:29:1 alcohol etílico-agua-glicerina, para preservarlas. Posteriormente las raíces fijadas fueron remojadas durante 24 horas con agua destilada para eliminar el exceso del fijador. Fueron aclaradas y teñidas mediante una modificación de la técnica de Phillips y Hayman (1970). Para aclarar las raíces se utilizó hidróxido de potasio (KOH) al 10% someténdolas a ebullición por 10 minutos, fueron lavadas con agua destilada y acidificadas por 30 minutos en ácido clorhídrico (HCl) al 0.1M,

posteriormente fueron teñidas con azul de tripano al 0.05% por 10 min, se eliminó el exceso de colorante con una solución de ácido láctico-glicerol-agua (proporción 14:1:1). Las raíces fueron cortadas en fragmentos de aproximadamente un centímetro de longitud y montadas en alcohol polivinílico y se elaboraron preparaciones permanentes. Las preparaciones fueron observadas en el microscopio óptico a 10x y 40x, para determinar el porcentaje total de colonización micorrízica por individuo y por época del año, el cual se estimó mediante el método de McGonigle *et al.* (1990).

Análisis de resultados

Para determinar si existían diferencias entre las tres épocas del año (lluvia, nortes y sequía) para cada una de las variables, temperatura del ambiente (T), humedad relativa del aire (HR), flujo de fotones para la fotosíntesis (FFF) y déficit de presión de vapor (DPV), la concentración de fósforo extraíble, no extraíble y total del suelo, el número de capas de velamen y la colonización por HMA, se aplicó un ANOVA de una sola vía con el programa Statistica 7. Todas las variables cumplían con los supuestos del ANOVA, en el caso del porcentaje de colonización se trabajó con los datos crudos antes de convertirlos en porcentajes. Posteriormente si existían diferencias significativas se realizó una prueba de Tukey, para establecer que épocas presentaban diferencias estadísticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización microambiental

En las dunas costeras de San Benito, Yucatán se presentan fluctuaciones importantes en las variables ambientales analizadas dependiendo de la época del año, esta fluctuación en el FFF es semejante al encontrado por (Polanco, 2008) en este mismo sitio durante dos de las épocas, lluvia y sequía. De manera general, el flujo de fotones fotosintéticos (FFF) cambia a lo largo del año y temporalmente cambia la hora de su pico máximo, por ello, durante la época de lluvias (septiembre), el máximo FFF se alcanzó a las 10 horas ($FFF=1368 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en la época de nortes y de sequía el FFF máximo se alcanzó a las 13 horas ($FFF=1159.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $1883.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente) (Figura 2a). El análisis estadístico mostró diferencias estadísticamente significativas, el promedio de la época de sequía (mayo), es mayor a la época de lluvia (septiembre) y de nortes (febrero) ($F_{(12, 2)}=64.9, p<0.001, \text{post hoc de Tukey } <0.05$).

Humedad relativa del aire

La humedad relativa disminuyó durante las primeras horas del día, para comenzar un incremento entre las 10 y 13 hrs; es importante mencionar que durante la época de lluvia se alcanzó

el 100% y disminuyó en la sequía hasta el 66% (Figura 3a), los valores y el patrón encontrado en este parámetro durante la época de lluvia y de sequía es semejante al encontrado en este mismo sitio hace cuatro años (Polanco, 2008). Los valores

de la humedad relativa presentaron diferencias significativas entre épocas ($F_{(12, 2)}=12.28$, $p<0.001$, *post hoc* de Tukey <0.05), siendo el promedio de la época lluviosa mayor al de la época de nortes y sequía (Figura 3b).

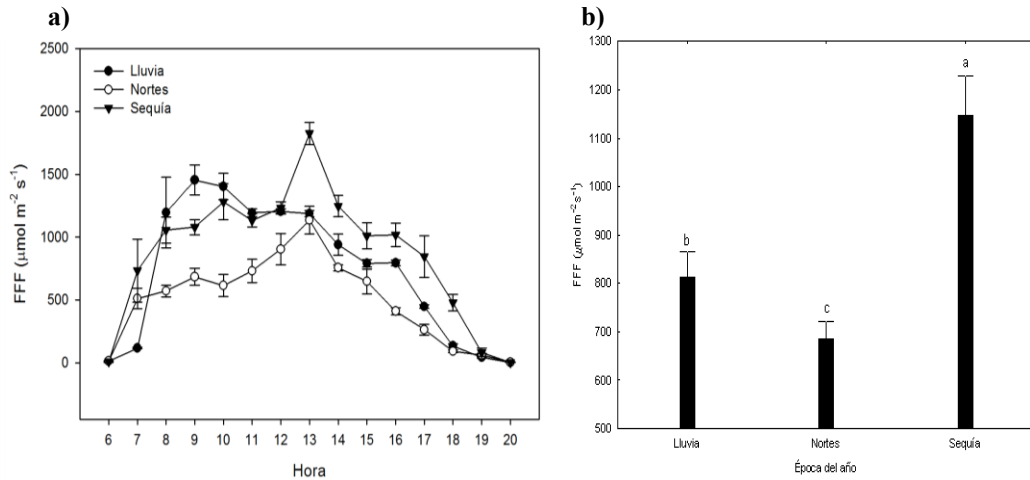


Figura 2. Densidad de flujo de fotones para la fotosíntesis (FFF) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a) fluctuación por 14 horas, b) promedio, en tres épocas del año, en la duna costera de San Benito, Yucatán (n=5 días).

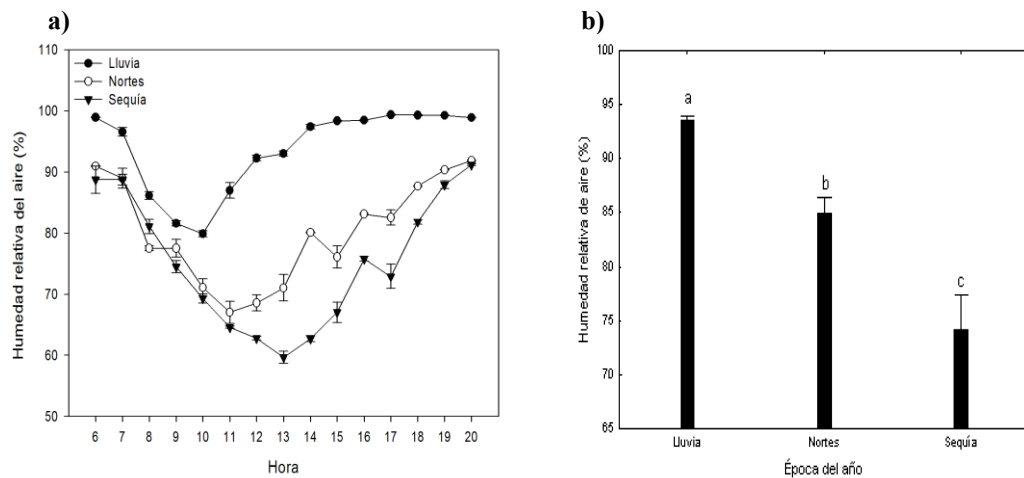


Figura 3. Marcha diaria promedio (\pm E.E.) de la humedad relativa del aire (%) en la duna costera de San Benito, Yucatán durante las diferentes épocas del año (n= 5 días).

Temperatura

La temperatura presentó los valores más altos entre las 11 y 16 hrs, al comparar entre las épocas del año se observa que durante la sequía la temperatura fue mucho más elevadas que en las otras temporadas, cabe señalar que durante la temporada de nortes se presentaron condiciones más favorables, es decir temperaturas más bajas que afectan menos la pérdida de agua en los individuos medidos y

favorecen la actividad fotosintética (Figura 4a), estas diferencias entre épocas del año fueron estadísticamente significativas ($F_{(12, 2)}=14.43$, $p<0.001$, *post hoc* de Tukey < 0.05), la temperatura promedio es mayor durante la época de sequía en las tres épocas muestreadas (Figura 4b). Los valores y el patrón encontrado en este estudio son semejantes a los monitoreados en la duna costera de San Benito y Sisal, Yucatán, para las épocas de lluvia y sequía (Polanco, 2006; Polanco, 2008).

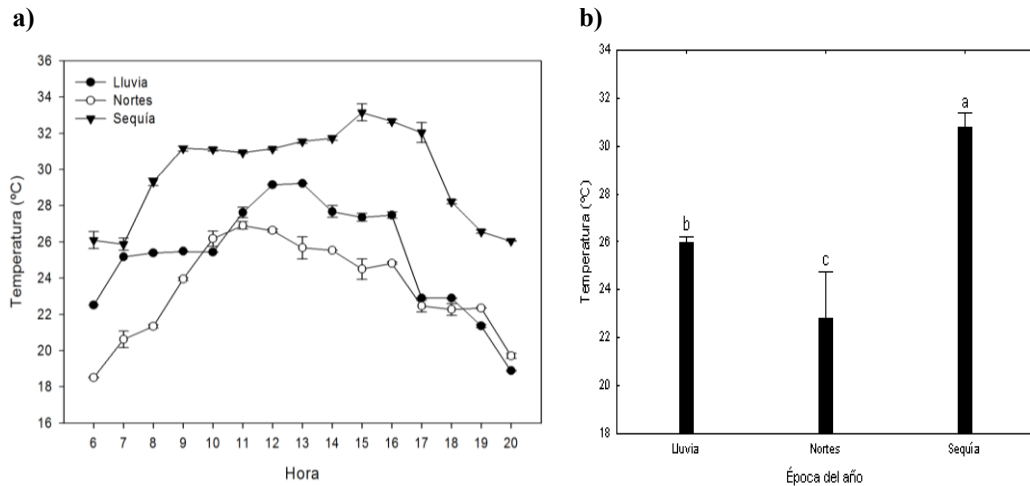


Figura 4. Marcha diurna promedio (\pm E.E.) de temperatura ($^{\circ}$ C) en San Benito, Yucatán durante las diferentes épocas del año ($n= 5$ días).

DVP (Deficit de presión de vapor)

El déficit de presión de vapor (DPV) fue menor en la época de lluvia y mayor durante la época de sequía, ello como consecuencia de una mayor evaporación del agua en este mes (Figura 5a). De acuerdo con Gil-Marín *et al.* (2006), este incremento en el DPV conlleva a una rápido cierre de los estomas que se traduce en una menor pérdida de agua por transpiración, el cual, afecta el intercambio gaseoso. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre cada una de las épocas del año ($F_{(12, 2)}=157.1$, $p<0.001$, *post hoc* de Tukey <0.05), siendo mayor el promedio obtenido en la época de sequía (Figura 5b).

En la localidad de San Benito, Yucatán, las condiciones ambientales más favorable, es decir en la que la planta responde con una mayor asimilación de CO_2 ($5.5 \pm 0.4 \mu mol m^{-2} s^{-1}$) y una menor pérdida de agua para los individuos de

Coccothrinax readii, fue durante nortes (febrero), debido a que las condiciones de luminosidad son más bajas, la temperatura máxima es de $26^{\circ}C$ y el DPV es moderado, lo que indica que en los nortes no se evapora tan rápidamente el agua disponible. Por otro lado, en la época de lluvias la humedad relativa es más elevada, factor que mantiene la asimilación de CO_2 en un valor intermedio ($2.3 \pm 0.3 \mu mol m^{-2} s^{-1}$). Finalmente, la época de sequía es la más desfavorable, debido a que en ella se presenta la menor asimilación de CO_2 ($1.7 \pm 0.1 \mu mol m^{-2} s^{-1}$), la temperatura es más elevada, la humedad relativa del aire es baja y el DPV es elevado, indicándonos que la escasa agua disponible se evaporará rápidamente. La disponibilidad de agua es un factor limitante en especies que crecen en condiciones áridas, debido a que el déficit hídrico afecta la conductancia estomática, disminuyendo la tasa fotosintética, debido a que decrece la disponibilidad de CO_2 en el mesófilo (Lawlor, 2002).

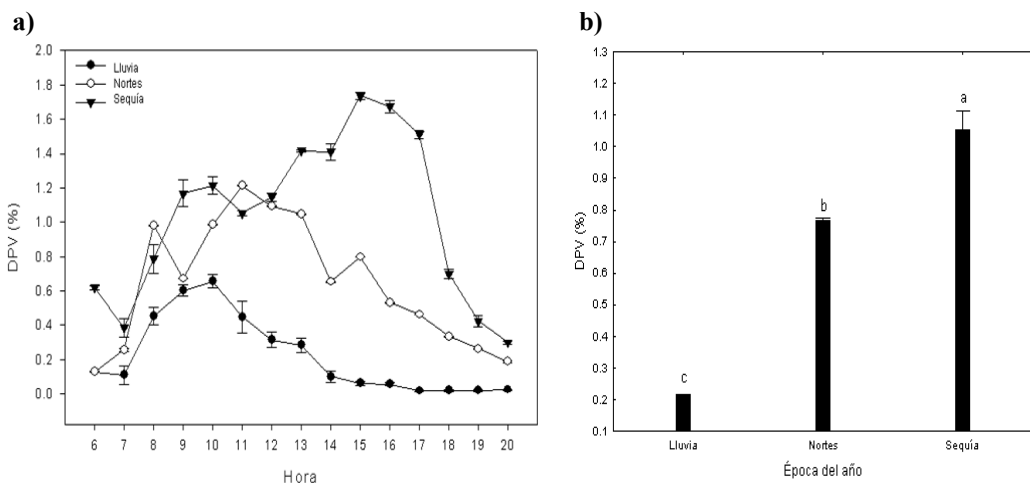


Figura 5. Marcha diurna promedio (\pm E.E.) del déficit de presión de vapor (DPV) en las dunas costeras de San Benito, Yucatán durante las diferentes épocas del año ($n= 5$ días).

Parámetros edáficos

Concentración de fósforo en el suelo

La concentración de fósforo extraíble, que de acuerdo con (Olsen *et al.* 1954) es el que se encuentra en el suelo y puede ser movilizado por las raíces de las plantas, no presentó variaciones significativas en las tres épocas de muestreo, lo que indica que la disponibilidad de fósforo no presenta influencia de la temporada. Por otro lado, la concentración de fósforo total, fue mayor en la época de lluvia y menor durante la sequía (Tabla 1). Es importante considerar que la cantidad de fósforo no disponible para las plantas se obtiene al restarle a la concentración de fósforo total la cantidad de fósforo extraíble, este resultado indica que se presenta un patrón muy semejante al del fósforo total, por lo que la duna costera presenta más fósforo no extraíble durante la época de lluvia y menos durante la época de sequía. Pero algo que hay que mencionar, aunque la cantidad sea mayor en la época de lluvia, esta concentración es muy baja, debido a que el ecosistema de duna tienen pocas entradas de nutrientes, principalmente depósito de detritus y movimiento de arena (Moreno-Casasola, 1982). Esta especie de palmera se encuentra más hacia el matorral de duna costera, en este tipo de vegetación hay una mayor concentración de nutrientes, y *C. readii* está altamente correlacionado con la concentración de fósforo en el suelo (Ayora y Orellana, 1993).

Anatomía de la epidermis de la raíz

Coccothrinax readii en las dunas costeras de San Benito presenta velamen en sus raíces, lo cual concuerda con Tomlinson (1990), que indica que este género presenta esta rizodermis especializada. El grosor del velamen, particularmente en el número de capas de células fue mayor durante la época de sequía que durante la época de lluvia y nortes, estadísticamente estas diferencias también son significativas ($F_{(2,7,2)} = 181.8$, $p < 0.001$) (Tabla 2). Asimismo, en esta época el velamen además de estar conformado por un mayor número de capas de células, su diámetro también es mayor, mientras que durante la época de lluvias las células son de menor diámetro. Estadísticamente, existen diferencias significativas en el diámetro de las

células que conforman el velamen entre cada época del año ($F_{(2,7,2)} = 185.06$, $p < 0.001$) (Tabla 2).

En lo que se refiere a la relación ancho del velamen/diámetro de la raíz de *Coccothrinax readii*, se observó una relación menor en la época de lluvias, debido a que el velamen abarca una sección muy pequeña. Sin embargo, uno de los resultados más contrastantes en este parámetro, es el encontrado en la época de nortes, en la cual, a pesar de que las capas de células de velamen son menores, estas ocupan una gran parte de toda la raíz al igual que durante la época de sequía. Estadísticamente, estas diferencias son significativas ($F_{(2,7,2)} = 13.9$, $p < 0.001$) (Tabla 2).

De acuerdo con Ceja-Romero *et al.* (2008), el velamen se le considera un tipo de epidermis formado por numerosas capas de células muertas con engrosamientos en las paredes, lo cual sirve para proteger el colapso celular y proteger las raíces de daño mecánico. En la temporada de lluvia, el velamen se llena pasivamente de agua mientras que en la temporada de sequía, proporciona una barrera que impide la pérdida de agua por transpiración. Como funciona como barrera mecánica, puede impedir el paso de los microorganismos del suelo, para hacerlo puede haber dos formas, ya sea aumentando el número de capas de células muertas o incrementando el grosor de las mismas, sin embargo los resultados encontrados en el velamen de *C. readii*, son opuestos ya que se debería disminuir de alguna manera el velamen, para permitir la colonización de los HMA, pero se observó que hay un aumento de las células que conforman el velamen cuando las condiciones son más desfavorables, pero la colonización en estas condiciones es mayor. Estos resultados nos indican que el velamen lo emplean mayormente como almacenamiento de agua y/o aire, lo que ayudaría a la planta a evitar la sequía pero no funciona como un blindaje ante los HMA.

Conforme se van conociendo más las características morfofisiológicas de esta palmera podemos observar que presenta adaptaciones a las condiciones ambientales desfavorables, sin depender por completo de la asociación con HMA para su sobrevivencia.

Tabla 1. Concentración promedio (\pm E.E.) de fósforo extraíble y total de los suelos donde crece *Coccothrinax readii*.

Época del año	Fósforo extraíble (mg.kg ⁻¹)	Fósforo no extraíble (mg.kg ⁻¹)	Fósforo total (mg.kg ⁻¹)
Lluvia (sep)	45.74 \pm 3.6	998.81 \pm 4 a	1040 \pm 18 a
Nortes (feb)	53.48 \pm 15	778.93 \pm 1.5 b	833 \pm 3 b
Sequía (may)	38.81 \pm 3.2	719.01 \pm 1.5 c	760 \pm 9.5 c

Letras diferentes indican diferencias significativas en la cantidad de fósforo total, $p < 0.001$, $n = 10$.

Tabla 2. Promedio (\pm E.E.) de distintas características del velamen de *Coccothrinax readii*, durante las diferentes épocas del año en San Benito, Yucatán.

Época del año	Número de capas de células de velamen (μ).	Diámetro de las células de velamen (μ)	Relación ancho del velamen/diámetro de la raíz (μ).
Lluvias (sep)	8.6 \pm 0.2 b	149.5 \pm 2.8 c	0.55 \pm 0.05 b
Nortes (feb)	8.9 \pm 0.2 b	228.9 \pm 3.9 b	0.73 \pm 0.04 a
Sequía (may)	14.1 \pm 0.3 a	277.9 \pm 6.7 a	0.87 \pm 0.03 a

Las letras diferentes indican diferencias significativas. Para el caso de las células del velamen la n=1000 y para el número de capas y la relación ancho/diámetro, la n=100.

HMA en *Coccothrinax readii*

Las dunas costeras son ambientes donde una alta proporción de especies vegetales están asociadas a HMA (Logan *et al.* 1989, Kulkarni *et al.* 1997), y es común encontrar esporas en la rizósfera (Kulkarni *et al.* 1997). En la península de Yucatán se ha documentado la colonización micorrízica en las especies dominantes de las dunas costeras de la costa norte de Yucatán (Ramos-Zapata *et al.* 2011, Guadarrama *et al.* 2012). Este estudio confirma que la palmera *Coccothrinax readii* es una especie micorrízica en el matorral de dunas costero de San Benito, Yucatán.

La colonización micorrízica en *C. readii* presentó como estructuras principales hifas y vesículas (Figura 6). Los porcentajes de colonización presentaron fluctuaciones importantes, 0.9 \pm 0.08 en los nortes y 21.2 \pm 0.62 y 27.7 \pm 0.48 en sequía y lluvia, respectivamente. Estadísticamente, presentó diferencias significativas entre las distintas épocas del año, siendo la de lluvia y la de sequía, las que difirieron de la época de nortes (febrero 2010) ($F_{(2,7)}=1961.3$, $p=0.003$, *Post hoc* Tukey $p<0.05$).

Los porcentajes de colonización obtenidos durante las épocas del año están correlacionados positivamente con los parámetros de FFF ($r=0.489$, $p>0.001$, $n=10$), de temperatura ($r=0.574$, $p<0.001$, $n=10$) y de fósforo no extraíble ($r=0.485$, $p<0.001$,

$n=10$) (Figura 7 a, c y f), también se encuentran correlacionados de manera negativa con el parámetro de DPV ($r=-0.4$, $p<0.05$, $n=10$) (Figura 7 d). Con los parámetros de humedad relativa del aire ($r=0.164$, $p>0.05$, $n=10$) y de fósforo extraíble ($r=-0.34$, $p>0.05$, $n=10$) la correlación no es significativa (Figura 7 b, e).

A pesar de que *Coccothrinax readii* presenta una alta correlación entre los parámetros microambientales y el porcentaje de colonización, los valores de la asociación son bajos si se compara con otra palmera de la duna costera, *Thrinax radiata*, donde se reportan un porcentaje de colonización de hasta el 80%. De acuerdo con Quintal (2003) esto se debe, a que *C. readii* es capaz de absorber mejor el fósforo en condiciones de altas concentraciones de sodio, asimismo puede traslocar fósforo de sus hojas más viejas a las más jóvenes. Sin embargo, cuando la concentración de fósforo extraíble para la planta descende, se presenta la asociación micorrízica, y como podemos observar con la concentración de fósforo no extraíble del suelo, este elemento se encuentra en concentraciones que pueden ser captadas por la micorriza, que al incrementar la nutrición mineral aumenta los contenidos de clorofilas y como consecuencia una alta tasa fotosintética (Bian *et al.*, 2001; Feng *et al.*, 2002).

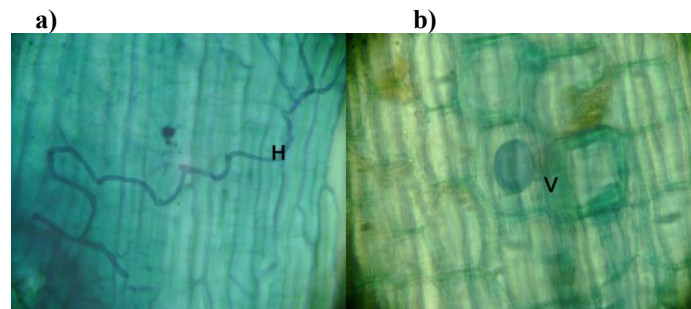


Figura 6. Estructuras de los hongos micorrízicos arbusculares encontradas en las raíces de *Coccothrinax readii*, a) imagen de una hifa (H), 10x. b) imagen de una vesícula (V), 40x.

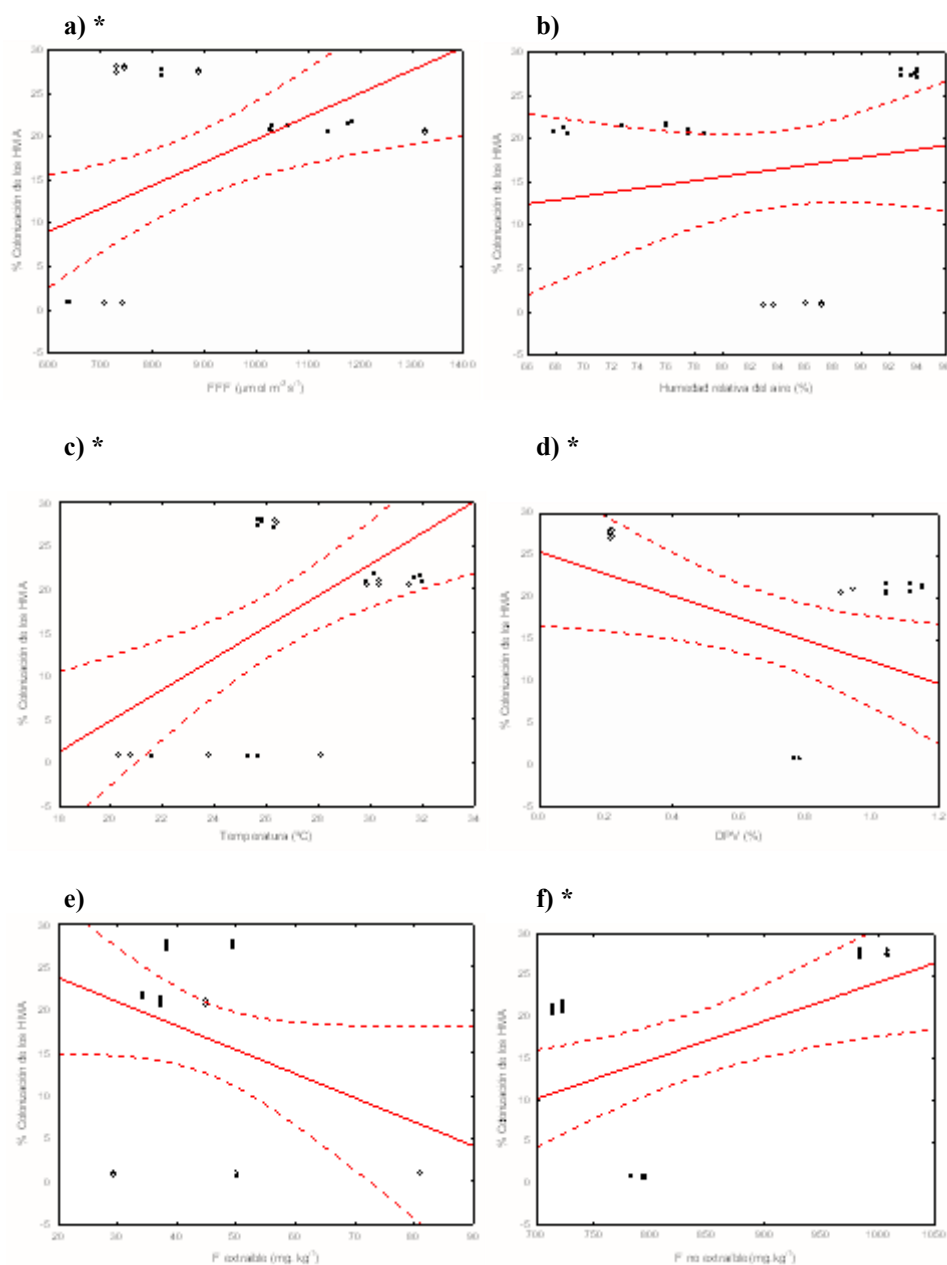


Figura 7. Correlación del porcentaje de colonización de los HMA con: a) el flujo de fotones para la fotosíntesis, FFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)*, b) la humedad relativa del aire (%), c) la temperatura ($^{\circ}\text{C}$)*, d) el déficit de presión de vapor, DPV (%)*, e) el fósforo extraíble (mg kg^{-1}) y el fósforo no extraíble (mg kg^{-1})*. * La correlación es estadísticamente significativa.

En este estudio, no se observó una relación entre la baja disponibilidad de agua y la asociación micorrízica, debido a que en la época de lluvia la asociación con los HMA es mayor, pero esto puede deberse a que como las condiciones son favorables, *C. readii*, aumenta su actividad fotosintética, pero requiere de fósforo para llevar a cabo esta actividad y por consiguiente, incrementa la captación de fósforo debido a este factor.

Al analizar en conjunto los datos microambientales y el porcentaje de colonización, se observa que estas asociaciones encontradas en *Coccothrinax readii*, son facultativas, de acuerdo con Smith & Read (2008) este término se define como la

capacidad de una planta para permitir la colonización por hongos micorrizógenos cuando las condiciones ambientales son desfavorables, esto debido a que las plantas les proporcionan algunos nutrientes, principalmente el fósforo y agua. *Coccothrinax readii*, es facultativa a la asociación con hongos micorrizicos arbusculares, debido a que cuando las condiciones ambientales son más favorables, en la época de nortes (febrero), cuando la asimilación de CO_2 es más elevada, el porcentaje de colonización por hongos micorrizicos disminuye. Sin embargo cuando las condiciones son menos favorables, como en la época de sequía y lluvia, mayo y septiembre respectivamente, la colonización aumenta.

CONCLUSIONES

Coccothrinax readii presenta asociaciones con los HMA en el matorral de duna costera de San Benito, Yucatán, factor que puede conferirle ventajas en un ambiente fluctuante, así como también presenta otras adaptaciones, para evitar la sequía como el engrosamiento del velamen, este le ayuda a tolerar la sequía, pero no funciona como barrera mecánica ante los HMA, debido a que cuando las condiciones de sequía se presentan, el porcentaje de HMA incrementa y cuando las condiciones ambientales son favorables, la asociación disminuye y la planta no depende de esta asociación para realizar sus actividades fotosintéticas.

REFERENCIAS

- Ayora, N. N., Orellana, R. 1993. Physicochemical soil factors influencing the distribution of two coastal palms in Yucatán, México. *Principes*. 37(2): 82-91.
- Bian, X., Hu, L., Li, X.; Zhang, F. 2001. Effect of VA mycorrhiza on the turfgrass quality and mineral nutrient uptakes. *Acta Prataculturae Sinica*. 10:42–46.
- Ceja-Romero J., Espejo-Serna A., López-Ferrari, A. R., García-Cruz, J., Mendoza-Ruiz, A., Pérez-García, B. 2008. Las plantas epífitas, su diversidad e importancia. *Ciencias*. 91:34-41.
- Chan, V., Rico-Gray, V., Flores, J. S. 2002. *Etnoflora yucatanense: Guía ilustrada de la flora costera representativa de la Península de Yucatán*. Fascículo 19. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán.
- Duran, R., Méndez, M., Dorantes, E. A., Dzib, G. 2007. Evaluación, diagnóstico y restauración de la vegetación y flora nativa de la duna costera en el noreste de Yucatán. Informe final, SEMARNAT, Mérida, México.
- Feng, G., Zhang, F. S., Li, X. L., Tian, C., Tang, C., Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*. 12:185–190.
- Flores, J. S. 1992. Vegetación de las islas de la península de Yucatán. *Florística y etnobotánica. Etnoflora yucatanense*. Fascículo 4. Universidad Autónoma de Yucatán. Sostenibilidad Maya. Mérida. Yucatán. México.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 5ta Edición. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- Gaviño, G., Juárez, J. C., Figueroa, H. H. 1979. *Técnicas biológicas selectas de laboratorio y de campo*. LIMUSA. México, D.F.
- Gil-Marín, J. A., Rodríguez, R., Jasso-Cantú, D., Zermeño, A. 2006. Resistencia estomática, transpiración y potencial hídrico en sábila con diferentes condiciones ambientales. *Terra Latinoamericana*. 24(3): 355-365.
- Granados-Sanchez, D., López-Ríos, G. F. Hernández-García, M. A. Sánchez-González, A. 2003. Ecología de las plantas epífitas. *Revista Chapingo, serie ciencias forestales*. 9(2):101-111.
- Guadarrama P., Ramos-Zapata J. A., Salinas-Peba, L., Hernández-Cuevas, L., Castillo, S. 2012. La vegetación de dunas costeras y su interacción micorrízica en Sisal, Yucatán: una propuesta de restauración. En: Sánchez A. J. (compilador). *Recursos costeros del sureste: tendencias actuales en investigación y estado del arte*. RECORECOS (en prensa).
- Kulkarni, S. S., Raviraja, N. S., Sridhar, K. R.. 1997. Arbuscular Mycorrhizal Fungi of Tropical Sand Dunes of West Coast of India. *Journal of Coastal Research*. 13: 931-936.
- Lawlor, D. V. 2002. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata versus metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*. 89: 871-885.
- Logan V. S., Clarke, P. J., Allaway, W. G. 1989. Mycorrhizas and Root Attributes of Plants of Coastal Sand-dunes of New South Wales. *Australian Journal of Plant Physiology*. 16: 141-146.
- Mendenhall, W., Beaver, R. J. 1991. *Introduction to probability and statistics*. 8a edición. PWS-KENT Publishing Company. Boston, Estados Unidos.
- Moreno-Casasola, P. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: Factores físicos. *Biótica*. 7(4):577-602.
- Nobel, P. S. 1991. *Physicochemical and environmental plant physiology*. Academic Press. San Diego, California, Estados Unidos.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular 939. United States

- Department of Agriculture. Washington, D. C, Estados Unidos.
- Orellana, R. 1999. Respuestas de las plantas al medio ambiente por medio de sus estrategias morfológicas y funcionales. En: Orellana, R., Escamilla- Bencomo, J. A. y Larqué-Saavedra, A. (Eds). Ecología vegetal y conservación de recursos genéticos. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. pp. 35-50.
- Orellana, R., Espadas, C., Conde, C. y C. Gay. 2009. Atlas Escenario de Cambio Climático en la Península de Yucatán. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM), FOMIX Yucatán, SEDUMA Yucatán, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Mérida, Yucatán, México.
- Peroza, C. V.; Pérez, C. A. 2010. Efecto de parámetros físicos, químico y salinidad sobre la densidad poblacional y la colonización de micorrizas arbusculares en pasto angletón en el municipio de Tolú, Sucre, Colombia. Revista colombiana de. Ciencia Animal. 2(2): 312-324.
- Phillips, J. M., Hayman, D. S. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular fungi for rapid assessment of infection. Transactions British Mycological Society. 55: 158-161.
- Polanco, G. 2006. Distribución de hábitats y condiciones favorables de crecimiento de la palma chit (*Thrinax radiata* Lodd. ex Schult & Schult. F.) en una población de duna costera. Tesis de licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Polanco, G. 2008. Cambios anatómicos y fisiológicos de cuatro especies de palmeras yucatanenses, como respuesta al aumento de la concentración de CO₂, en condiciones controladas. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
- Prieto, J. A., Lebon, É., Ojeda, H. 2010. Stomatal behavior of different grapevinecultivars in response to soil water status and air water vapor pressure deficit. Journal international des Sciences de la Vigne et du Vin. 44(1): 9-20.
- Quero, H., Flores, J. S. 2004. Arecaceae. Etnoflora yucatanense. Fascículo 23. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. México.
- Quintal, F. H. 2003. Absorción diferencial de potasio por las raíces de las palmas nativas de Yucatán, *Thrinax radiata* y *Coccothrinax readii*. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida, Yucatán, México.
- Ramos-Zapata J. A, Zapata-Trujillo, R., Ortiz-Díaz J. J., Guadarrama, P. 2011. Arbuscular mycorrhizas in a tropical coastal dune system in Yucatan, Mexico. Fungal Ecology. 4:256-261.
- Reyes-García, C., Griffiths, H. 2009. Ecophysiological studies of perennials of the bromeliaceae family in a dry forest: strategies for survival. In: De la Barrera, E. and Smith, W. K. (Eds.). Perspectives in Biophysical Plant Ecophysiology: A Tribute to Park S. Nobel. Universidad Nacional Autónoma de México. pp: 121- 151.
- Smith, S. E., Read, D. J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. 3^a edición. Oxford, Reino Unido.
- Tapia, J. J. 2003. Identificación de hongos micorrízicos arbusculares aislados de suelos salinos y su eficiencia en las plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Biológicas y agropecuarias. Universidad de Colima.
- Tomlinson, J. B. 1990. The structural biology of palms. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.
- Torres, W., Méndez, M., Dorantes, A., Durán, R. 2010. Estructura, composición y diversidad del matorral de duna costera en el litoral yucateco. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 86: 37-51.