

Autores:

Boris Augusto Méndez Paiz

Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela
Soren Sherwood Ramírez Barillas
José Miguel Escobar Sandoval

Paris Francisco Rivera Ramos
Wener Armando Ochoa Orozco
Bayron Geovany González Chavajay
Marvin Roberto Salguero Barahona



tikalía



Aportes Científico-Tecnológicos en Sistemas de Producción Agrícola y Recursos Naturales Renovables, Gestión Ambiental Local e Ingeniería en Industrias Agrícolas y Forestales

CONTENIDO

- 1 **Ecología y silvicultura de palo blanco (*Roseodendron donnell-smithii*), especie de madera valiosa, nativa de Mesoamérica**
Boris Augusto Méndez Paiz
- 21 **Bioprospección de hiperparásitos de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) en reservas naturales voluntarias de fincas cafetaleras en Guatemala**
Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela
Soren Sherwood Ramírez Barillas
José Miguel Escobar Sandoval
- 39 **Inicio y término de la época lluviosa (IELL, TELL) en los estratos de la zona cañera de Guatemala**
Paris Francisco Rivera Ramos
Wener Armando Ochoa Orozco
Bayron Geovany González Chavajay
Marvin Roberto Salguero Barahona
- 59 **Resúmenes de Tesis de Grado**
- 71 **Resúmenes de Tesis de Postgrado**
- 77 **Instrucciones para autores**

Publicación indexada en:



www.latindex.unam.mx

Editora:

Michelle Sanabria Oliva

Diseño:

Hernán Guerra Sandoval

Vol. 37 No. 2, Julio-Diciembre 2019

Tikalía

Facultad de Agronomía, USAC



Volumen 37, Número 2
julio - diciembre 2019

tikalía

ISSN 2221-5964

Revista científica de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala

Inicio y término de la época lluviosa (IELL, TELL) en los estratos de la zona cañera de Guatemala



Ecología y silvicultura de palo blanco (*Roseodendron donnell-smithii*), especie de madera valiosa, nativa de Mesoamérica

Bioprospección de hiperparásitos de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) en reservas naturales voluntarias de fincas cafetaleras en Guatemala



Revista Tikalía Volumen 37, Número 2-2019, (Julio-Diciembre) publicación científica semestral de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, contiene los artículos siguientes:

Ecología y silvicultura de palo blanco (*Roseodendron donnell-smithii*), especie de madera valiosa, nativa de Mesoamérica, de Boris Augusto Méndez Paiz. Orientada en definir las posibilidades de cultivo sostenible de la especie de Palo Blanco, considerando las presiones a que está siendo sometida debido a la pérdida de hábitat, sobre explotación por el valor comercial de la madera y la limitada oferta que se tiene proveniente de plantaciones.

Bioprospección de hiperparásitos de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) en reservas naturales voluntarias de fincas cafetaleras en Guatemala, de Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela, Soren Sherwood Ramírez Barillas y José Miguel Escobar Sandoval. Investigación enfocada en agentes de control biológico siendo una actividad primaria en la búsqueda de alternativas para el manejo de plagas, enfermedades en las reservas naturales dentro de plantaciones de café en 10 fincas con reservas naturales con café, cinco de Guatemala, cuatro de Sacatepéquez y una de Chimaltenango.

Inicio y término de la época lluviosa (IELL, TELL) en los estratos de la zona cañera de Guatemala, de Paris Francisco Rivera Ramos, Wener Armando Ochoa Orozco, Bayron Geovany González Chavajay y Marvin Roberto Salguero Barahona. Estudio realizado en el sur de Guatemala, con el propósito de evaluar el comportamiento e identificación del inicio de la época lluviosa (IELL) y término de la época lluviosa (TELL), en el periodo de Mayo a Octubre.

La editora.



APORTES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES, GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL E INGENIERÍA EN INDUSTRIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

La Revista Tikalia es el órgano oficial de divulgación científica de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Su propósito es contribuir al desarrollo de las Ciencias Agrícolas mediante la publicación de artículos científicos y técnicos que reflejan los resultados de las investigaciones que realizan profesores y estudiantes de la Facultad; así como la publicación de artículos teóricos elaborados por científicos y técnicos de otras universidades e instituciones de investigación agrícola que se adecúen a las necesidades del desarrollo académico de la Facultad.

Los autores son responsables del contenido de sus artículos.

¿Por qué el nombre **tikalía**?

El nombre de esta revista dedicada a la ciencia y la tecnología agrícola se debe a que Tikal fue un centro clásico de la antigua cultura maya, establecida otrora sobre una base constituida por la producción agrícola.

Las evidencias obtenidas por diversos mayistas muestran que en los asentamientos iniciales de aquel pueblo, las tierras bajas de lo que ahora es Petén, se desarrollaron sistemas de producción agrícola basados en el maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), piloy (*Phaseolus coccineus*), y otras especies cultivadas y forestales.

Se ha estimado que en el periodo clásico, Tikal llegó a tener una población de 50 mil a 70 mil habitantes, dentro de un radio de seis kilómetros al derredor de la ciudad, o sea una área aproximada de 120 kms². Una densidad poblacional de tal magnitud requería sustentarse en sistemas de producción agrícola sumamente intensivos, los cuales incluyeron una infraestructura especializada, constituida por terrazas, riego y drenajes. Como consecuencia de lo anterior, se dice que la agricultura y el manejo de los Recursos Naturales Renovables de aquella zona alcanzaron un alto grado de desarrollo.

Por haber sido Tikal un sitio histórico-geográfico privilegiado durante el florecimiento Maya, y por estar actualmente la Facultad de Agronomía orientada al estudio y manejo de los Sistemas de Producción Agrícola y de los Recursos Naturales Renovables, Gestión Ambiental Local e Ingeniería en Industrias Agrícolas y Forestales —actividades primigeniamente conocidas por los mayas— es que esta revista, dedicada a difundir la ciencia y la tecnología, ha sido denominada con el nombre de Tikalia.



Revista científica de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala



Volumen 37, Número 2



Guatemala, Julio - Diciembre 2019



**Revista científica de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Junta Directiva de la FAUSAC 2019

Decano

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes

Secretario Académico

Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

Vocal I

Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona

Vocal II

Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Alvarez

Vocal III

Ing. Agr. Jorge Mario Cabrera Madrid

Vocal IV

P. Agr. Marlon Estuardo González Álvarez

Vocal V

Br. Sergio Wladimir González Paz

Consejo Editorial

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes (Presidente)

Licda. Michelle Sanabria (Secretaria)

Dr. Hugo Cardona Castillo.

Ing. Agr. Carlos López Búcaro.

Ing. Agr. José Humberto Calderón Díaz.

Br. Marco Yordano Hernández.

Revista  **tikalía**

Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala Edificio T-9, Nivel 3,

Salón 3-18, Ciudad Universitaria, zona 12

Guatemala, Guatemala 01012, Apartado Postal 1545

Télefono +(502) 24188000

Correo electrónico: [tikalia@fausac.gt](mailto:tikalía@fausac.gt)

Editora:

Michelle Sanabria Oliva

Agradecimiento a las Traductoras:

Traductora Jurada Alessandra García Pontaza

Traductora e Intérprete Jurado Licda. Carla María Archila León

PRESENTACIÓN

Revista Tikalia Volumen 37, Número 2-2019, (Julio-Diciembre) publicación científica semestral de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, contiene los artículos siguientes:

Ecología y silvicultura de palo blanco (*Roseodendron donnell-smithii*), especie de madera valiosa, nativa de Mesoamérica, de Boris Augusto Méndez Paiz. Orientada en definir las posibilidades de cultivo sostenible de la especie de Palo Blanco, considerando las presiones a que está siendo sometida debido a la pérdida de hábitat, sobre explotación por el valor comercial de la madera y la limitada oferta que se tiene proveniente de plantaciones.

Bioprospección de hiperparásitos de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) en reservas naturales voluntarias de fincas cafetaleras en Guatemala, de Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela, Soren Sherwood Ramírez Barillas y José Miguel Escobar Sandoval. Investigación enfocada en agentes de control biológico siendo una actividad primaria en la búsqueda de alternativas para el manejo de plagas, enfermedades en las reservas naturales dentro de plantaciones de café en 10 fincas con reservas naturales con café, cinco de Guatemala, cuatro de Sacatepéquez y una de Chimaltenango.

Inicio y término de la época lluviosa (IELL, TELL) en los estratos de la zona cañera de Guatemala, de Paris Francisco Rivera Ramos, Wener Armando Ochoa Orozco, Bayron Geovany González Chavajay y Marvin Roberto Salguero Barahona. Estudio realizado en el sur de Guatemala, con el propósito de evaluar el comportamiento e identificación del inicio de la época lluviosa (IELL) y término de la época lluviosa (TELL), en el período de Mayo a Octubre.

La editora.

CONTENIDO

- 1 **Ecología y silvicultura de palo blanco (*Roseodendron donnell-smithii*), especie de madera valiosa, nativa de Mesoamérica**
- Boris Augusto Méndez Paiz
-
- 21 **Bioprospección de hiperparásitos de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) en reservas naturales voluntarias de fincas cafetaleras en Guatemala**
- Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela
Soren Sherwood Ramírez Barillas
José Miguel Escobar Sandoval
-
- 39 **Inicio y término de la época lluviosa (IELL, TELL) en los estratos de la zona cañera de Guatemala**
- Paris Francisco Rivera Ramos
Wener Armando Ochoa Orozco
Bayron Geovany González Chavajay
Marvin Roberto Salguero Barahona
-
- 59 **Resúmenes de Tesis de Grado**
-
- 71 **Resúmenes de Tesis de Postgrado**
-
- 77 **Instrucciones para autores**



**Ecología y silvicultura de palo blanco
(*Roseodendron donnell-smithii*),
especie de madera valiosa, nativa de
Mesoamérica**

Boris Augusto Méndez Paiz¹

Recibido el 08 de octubre de 2019.

Aprobado el 16 de junio de 2020.

¹Ingeniero Agrónomo, Doctor en Ciencias Agrícolas,
Profesor Titular, Facultad de Agronomía, USAC. bmpaiz16@gmail.com

RESUMEN

Palo Blanco (*Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda), es la especie nativa cultivada en mayor superficie en plantaciones en Tierras Bajas y Húmedas en Guatemala durante las últimas dos décadas. Es considerado un árbol de usos múltiples, cultivado para fines ornamentales por sus vistosas flores, siendo empleado extensamente como sombra en sistemas de café, cacao y silvopastoriles, apreciado por su valiosa madera y catalogada como semipreciosa y empleada para aplicaciones de alto valor. Las plantaciones en monocultivo con fondos estatales tuvieron un índice de alto fracaso, desmotivando a productores en la plantación de la especie. La investigación abordó diferentes aspectos sobre la ecología y silvicultura de Palo Blanco, incluyendo (i) los requerimientos edafo-climáticos que favorecen o limitan el desarrollo del árbol; (ii) adaptación y desarrollo de materiales morfológicamente superiores de la colección nacional de *R. donnell-smithii* en tres ambientes contrastantes en el sur de Guatemala; (iii) Desempeño de Palo Blanco en plantaciones en monocultivo contra diferentes tipos de mezclas; (iv) modelación del rendimiento maderable en árboles jóvenes, para predecir la cantidad, distribución y tipo de producto que es posible obtener de este tipo de árboles, y analizar sus posibilidades comerciales. La información generada con el trabajo está orientada a definir posibilidades de cultivo sostenible de la especie, considerando las presiones a la que es sometida debido a la pérdida de hábitat, sobre explotación por el valor comercial de la madera y la limitada oferta que se tiene proveniente de plantaciones.

Palabras clave: Palo Blanco; *Roseodendron donnell-smithii*; Necesidades de las plantas; Índice de vegetación; Ordenación forestal; Composición botánica; Simulador de vegetación forestal (SVF); Rendimiento de cultivos.

ABSTRACT

Palo Blanco (*Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda), is the native species cultivated in most surfaces in plantations in Low and Wet Lands in Guatemala during the past two decades. It is considered a multipurpose tree, cultivated for ornamental purposes for its attractive flowers, it has been widely used as a shade in coffee, cocoa and silvopastoral systems and it is highly regarded by its valuable wood, classified as semi-precious and used for high-value applications. Monoculture applications established with the species with state funds had a high failure rate, discouraging producers to continue planting the species. The research addressed different aspects of the ecology and forestry of Palo Blanco, including (i) edafo-climatic requirements that favor or limit the development of a tree, (ii) adaptation and development of morphological superior materials from the *R. donnell-smithii* national collection in three contrasting environments in the South of Guatemala, (iii) performance of Palo Blanco in monoculture plantations against different types of mixtures, (iv) modeling of the timber performance in young trees to predict the quantity, distribution and type of product that can be obtained from this type of tree, and to analyze its commercial possibilities. The information generated by the work is aimed at defining possibilities for the sustainable cultivation of the species, considering the pressures to which it is being held due to the loss of habitats, over exploitation due to the commercial value of the wood and the limited supply of plantations that are available.

Key words: Palo Blanco; *Roseodendron donnell-smithii*; Needs of plants; Vegetation index; Forest management; Botanical composition; Forest vegetation simulator (SVF); Crop yield.

INTRODUCCIÓN

1. *Roseodendron donnell-smithii*: especie nativa de madera valiosa.

1.1 Taxonomía, ecología y usos de la especie. *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda, tiene sinonimia aceptada en los géneros *Tabebuia*, *Tecoma* y *Cybistax* (Kew Royal Botanic Gardens, 2013). El género pertenece a la familia Bignoniaceae (Mabberley, 2008), considerada como características del Neo trópico (Ghazoul y Sheil, 2010). El árbol es conocido localmente con los nombres de “San Juan Guayapeño” en Honduras (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, 2007), “Cortez” en Honduras y El Salvador; “Primavera” en México y ocasionalmente como “Caoba Blanca” en el mercado maderero de Estados Unidos (Lamb, 1951). En Guatemala el nombre más común es “Palo Blanco” (Standley, Williams y Nash-Gibson, 1974).

Es un árbol de dosel que puede llegar a ser emergente, con alturas de hasta 35 m de fuste, a menudo 60-100 cm de diámetro, generalmente con pequeños contrafuertes (Standley *et al.*, 1974; Francis, 1989); los árboles grandes desarrollan un fuste libre de ramas hasta alturas de 8 a 12 m. (Lamb, 1951); la copa es redondeada o esparcida, la corteza de color café claro a gris, bastante lisa, a veces con grandes escamas; el nombre usual de Palo Blanco se refiere a la corteza blanquecina, lo que hace que el árbol sea fácilmente reconocible a distancia. Las hojas son compuestas, frecuentemente con 7 folíolos, a veces 5; la inflorescencia es una gran panícula abierta, flores con corola amarillo brillante y el fruto es una cápsula de 30-45 cm largo y 2-3 cm de ancho (Standley *et al.*, 1974). Pierde el follaje en la estación seca, justo antes del apareamiento de sus atractivas flores amarillas (Lamb, 1951), que son excepcionalmente vistosas (Standley *et al.*, 1974).

Su distribución natural se reporta para Mesoamérica (Pennington y Sarukhan, 1998; Francis & Lowe, 2000), en los bosques nativos de las Tierras Bajas del Pacífico de México, desde Nayarit hasta Chiapas y en la vertiente Atlántica en el Golfo de México en los estados de Tabasco y Veracruz, continuando por el Pacífico de Guatemala y El Salvador hasta el centro de Honduras, entre 13 ° y 21 ° de latitud norte.

La especie en Centroamérica ha sido agotada de los bosques naturales por la sobreexplotación de su valiosa madera (Standley, 1974) y el cambio en el uso de la tierra. En Guatemala, el árbol solía ser una especie componente de bosques nativos de las tierras bajas y húmedas en las llanuras y el pie de monte volcánico del lado sur del país; debido al intenso cambio en el uso de la tierra ocurrido durante la segunda mitad del siglo XX, estos bosques **han desaparecido**, habiendo sobrevivido en plantaciones agroforestales, principalmente en cafetales, como árbol multipropósito, empleado para sombra y protección de los arbustos de café y apreciado por su madera para usos de alto valor.

La madera es de color amarillo pálido o casi blanco a marrón amarillento claro, tiende a oscurecer y enrojecer con la edad; bastante ligera pero firme y sin defectos, densidad 0.45; grano bastante recto o ligeramente entrelazado; textura media con poros de tamaño medio, gruesos, con un brillo naturalmente alto; bastante resistente, fácil de trabajar, permite acabados suaves, no se deforma ni retuerce, resiste bien el desgaste con el tiempo; acepta bien los pegamentos y tiene buenas tonalidades y acabados (The Wood Database, 2016; Standley *et al.*, 1974). Es una de las especies maderables importantes de las llanuras del Pacífico de Guatemala (Standley *et al.*, 1974). Se ha utilizado localmente en Centroamérica para leña, muebles y acabados de interior en viviendas, forros de embarcaciones y embalajes.

A mediados del siglo XX, Lamb (1951), informó que la especie con su distribución restringida había sido seriamente sobre aprovechada, al punto que no había disponibilidad de madera comercial de la especie que permitiera asegurar un suministro continuo, necesario para establecer programas de producción de muebles y el comercio de accesorios, de tal forma que, para sostener el mercado de esta madera, era esencial un esfuerzo serio para promover el cultivo de la especie. Este autor acotaba que de ser posible producir en cantidad suficiente a precios competitivos con caoba y otras maderas para muebles, el consumo de madera de *R. donnell-smithii* podría ser incrementado sustancialmente.

En la actualidad se vende comúnmente en el mercado estadounidense tanto en madera aserrada como en chapa; los precios están en el rango medio de madera importada y es probable que sean más estables que otras especies exóticas

tropicales americanas, ya que su abastecimiento no proviene exclusivamente de bosques nativos sino también de plantaciones, sobre todo en Centroamérica (The Wood Database, 2016). El Servicio Forestal de Guatemala incluye a *R. donnell-smithii* como especie “semipreciosas”, con base en su valor comercial (Instituto Nacional de Bosques, 2017).

Palo Blanco se está considerando para inclusión en la lista nacional de especies amenazadas en Guatemala y en el listado de la convención CITES (CONAP, 2019).

1.2 Conocimiento actual y vacíos de información sobre la silvicultura de *R.donnell-smithii*.

Como sucede con la mayoría de especies tropicales de madera valiosa, el uso de *R. donnell-smithii* se toma como una opción para plantaciones que ha sido limitado debido a la falta de conocimiento confiable de su ecología y silvicultura. Se ha identificado la escasez de información sobre varios problemas críticos, incluyendo el desarrollo del árbol bajo, diferentes condiciones de sitio (topografía, suelo y clima), la disponibilidad y conocimiento de materiales potencialmente superiores para condiciones específicas de sitio, la viabilidad de cultivo de la especie en diferentes arreglos incluyendo mezclas con otras especies maderables y cultivos agrícolas, el rendimiento de madera de árboles en pie en las diferentes etapas de desarrollo y proyecciones financieras para distintos escenarios ambientales y de manejo. La información ecológica disponible para la especie se resume en el Cuadro 1.

Con el inicio del Programa Nacional de Incentivos Forestales -PINFOR- a fines de la década de 1990, esta especie nativa fue la más cultivada en plantaciones forestales en las tierras bajas y húmedas del norte y sur de Guatemala.

Cuadro 1. Requerimientos ecológicos conocidos de *Roseodendron donnell-smithii*

Variable	Rango óptimo y valores críticos
Lluvia cantidad y distribución	3000-4000 mm/año óptimo, aun cuando sobrevive con mínimo de 1000 mm; < 2000 mm anuales y más 5 meses secos (< 100 mm) restringe el desarrollo.
Zona de Vida Holdridge	Bosque subtropical muy húmedo (especie indicadora en Centroamérica). Puede ser encontrado en Bosque húmedo e incluso seco, pero con menor adaptación y desarrollo. 0 – 1000 m (5 m en rodales naturales en Colima, México) 300 – 600 m (pie de monte volcánico) óptimo en sur de Guatemala.
Características de suelo	Aluviales profundos. Árbol despliega raíz pivotante, fuerte y profunda. Textura liviana, franco-arenosa, origen aluvial o volcánico o en arcilla poco profunda y bien drenada con incrustaciones de piedra caliza. En texturas pesadas y con mal drenaje, las raíces mueren, causando muerte de la copa. Se deben evitar suelos compactados; requiere alta fertilidad.
Topografía	Planicies aluviales moderadas y pendientes coluviales bajas son las mejores posiciones; requiere suelo profundo en áreas rocosas; depresiones profundas no son adecuadas por potencial riesgo de drenaje deficiente.
Viento	Copa vulnerable a fuertes vientos. 40-70% árboles murieron en La Másica, Honduras, luego del paso Huracán Mitch en 1998. Resiliente a vientos moderados, debido a que copas parcialmente afectadas pueden reanudar crecimiento en altura por

la renovación anual del meristemo apical, debido al patrón de ramificación del árbol (modelo “Koriba”).

Tolerancia a sombra	Intermedia. Tolera y parece requerir sombra parcial (lateral) durante primeras etapas de desarrollo; se convierte en intolerante (heliófila) cuando alcanza dosel superior en la madurez.
Semilla	Diseminada naturalmente por viento. Fácil propagación.
Duración ciclo de vida/ Madera	60-80 años. Probable componente de etapas serales medias y maduras. Gravedad específica de la madera intermedia.
Fenología / Copa	Parcialmente caducifolia durante estación seca. Cuanto más seco el sitio, más marcada defoliación. Hoja pequeña; copa compacta en etapas juveniles y expandida en madurez. En monocultivos forma dosel abierto en juventud que permite paso de radiación solar sustancial a estratos inferiores.

Fuente: Cordero *et al.*, 2003; FHIA, 2007; Francis, 1989; Halle, Oldeman y Tomlinson, 1978; Lamb, 1951; López-Ayala *et al.*, 2006b; Miranda, 1975; Montagnini y Jordan, 2005; Standley, 1974; Observaciones del autor.

OBJETIVOS

Estudiar las principales características ecológicas y de manejo de *Roseodendron donnell-smithii*, para identificar tratamientos silvícolas pertinentes para su cultivo sostenible.

Se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- a) Evaluar la respuesta de *R. donnell-smithii* a diferentes condiciones de sitio, identificando factores que explican la adaptación y desarrollo de la especie.
- b) Comparar el rendimiento de materiales morfológicamente superiores de *R. donnell-smithii* conservados *ex situ* en tres condiciones ambientales contrastantes.
- c) Establecer si existen diferencias relevantes en rendimiento al cultivar *R. donnell-smithii* en rodales mixtos en comparación con el monocultivo de la especie.
- d) Cuantificar el rendimiento de madera para diferentes fines en árboles jóvenes de *R. donnell-smithii*, identificando sus implicaciones de manejo.

METODOLOGÍA

3.1 Zonas de estudio y sitios experimentales

La investigación se llevó a cabo analizando diferentes tipos de plantaciones y sitios en tierras bajas y húmedas del Atlántico y Pacífico de Guatemala. Las ubicaciones de los sitios experimentales se muestran en la Figura 1.

Figura 1-A

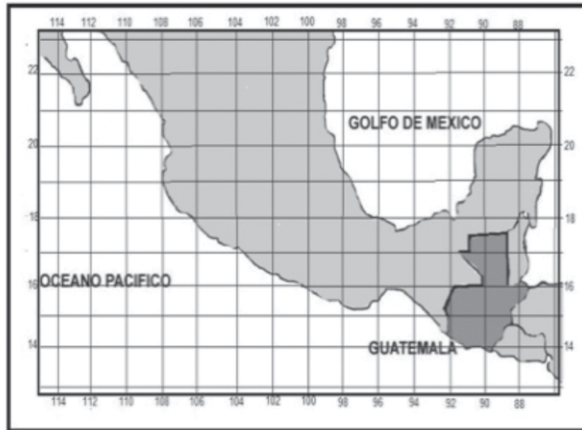
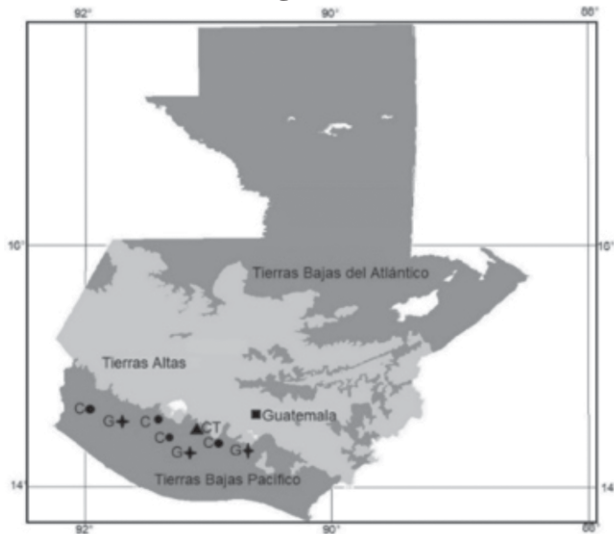


Figura 1-B



Mapa de Guatemala mostrando las Tierras Bajas del Pacífico, Tierras Altas, Tierras Bajas del Atlántico del país, Sitios de Estudio Genético (G), Sitios de Estudio de Cultivo (C), Sitio de Estudio de Rendimiento de Madera (T).

3.2 Métodos empleados y objetivos de estudio

Para el primer objetivo se evaluó la influencia del sitio en adaptación y crecimiento de plantaciones puras de *R. donnell-smithii* mediante muestreo de 20 plantaciones creciendo en una variedad de condiciones ambientales en el sur y norte de Guatemala. Se buscó identificar factores ambientales relevantes -particularmente características de suelo y topografía- para explicar la adaptación y crecimiento inicial de la especie, buscando mejorarla selección de los sitios de plantación.

Para el segundo objetivo se evaluó sobrevivencia y crecimiento inicial de materiales fenotípicamente superiores de *R. donnell-smithii* en tres localidades del sur de Guatemala con un gradiente de humedad y temperatura (Pilonos de Antigua, 2009) con plantaciones de 8 y 9 años de edad. Se compararon los materiales entre sí y entre sitios, lo que permitió identificar materiales promisorios por sitio, así como la interacción genotipo x ambiente.

Para el tercer objetivo se comparó el desempeño de la especie en plantaciones de monocultivo contra plantaciones mixtas en asocio de otras especies maderables, en cinco localidades en tierras bajas del Pacífico de Guatemala; la productividad de rodal y tasas de crecimiento promedio en diámetro y altura para árboles individuales de *R. donnell-smithii* sirvieron de indicadores para comparar las dos condiciones.

Para el cuarto objetivo se llevó a cabo la construcción de un modelo para predecir el volumen total y distribución de productos leñosos para árboles jóvenes de *R. donnell-smithii*, utilizando datos obtenidos de la medición de árboles derribados en Estación Experimental San Julián, en la Costa Pacífico de Guatemala; los precios locales y regionales de los productos se obtuvieron por medio de entrevistas.

RESULTADOS

4.1 Comprender la auto ecología de Palo Blanco es clave para su cultivo en plantaciones.

Los requerimientos de sitio para Palo Blanco pueden ser diferenciados en dos escalas. La primera es una escala macro, representada por la condición climática, donde la especie está reportada para un rango de distribución natural relativamente amplio, con una importante variación en latitud (13 a 21 grados norte), altitud (0-1000 m) y humedad (precipitación de 1000 a 4000 mm anuales) (Lamb, 1951; Standley *et al.*, 1974; Francis, 1989; López-Ayala, *et al.*, 2006; Cordero *et al.*, 2003). La segunda es una escala micro, representada por la variación local, que imponen las condiciones de terreno y suelo; estas condiciones en Centroamérica, y Guatemala en particular, son muy variables, debido a las diferencias por origen geológico, fisiografía y evolución de los suelos.

R. donnell-smithii tolera mal los suelos con déficit o exceso marcado de humedad, característica similar a *Tectona grandis* y en contraposición a algunos Eucaliptos y a *Tabebuia rosea*, especies capaces de tolerar de 2 a 3 meses de anegamiento; *R. donnell-smithii* tampoco prospera en suelos con capas endurecidas a poca profundidad, frecuentes en Tierras Bajas del Norte de Guatemala. Los factores físicos como textura pesada (relacionada con altos contenidos de arcilla), presencia de capas rocosas, riesgo de anegamiento en zonas muy planas, y la combinación de estos factores, explica en buena medida el riesgo de fracaso de plantaciones con Palo Blanco, por lo que una adecuada zonificación que considere la variación edafo-climática, resulta esencial para maximizar la posibilidad de éxito al plantar la especie; el uso de otras especies acordes a cada condición particular de suelo debe ser considerado, dado que incluso en una misma unidad productiva, es frecuente encontrar este tipo de variaciones de micro sitio debido a condiciones de terreno.

Del análisis de fertilidad, se identificó que el contenido de nitrógeno en el suelo tiene correlación con el crecimiento en altura, probablemente vinculado a que por un lado este es un elemento esencial para el crecimiento, y por otro debido a que la

vegetación herbácea indeseable puede competir fuertemente por este elemento con los árboles de Palo Blanco en las etapas juveniles, afectando su desarrollo. Una evaluación del contenido nutricional en follaje en árboles de Palo Blanco y su relación con vegetación indeseable, permitirá aclarar esta situación.

4.2. El crecimiento y vigor se explica por la interacción genotipo x ambiente.

La sobrevivencia y crecimiento durante las primeras etapas de desarrollo de materiales de la colección nacional de Palo Blanco en Guatemala plantados en monocultivo en tres localidades, refleja respuesta diferenciada entre las familias seleccionadas, con algunos materiales creciendo mejor que otros en los tres ambientes; en general la especie responde al gradiente de humedad que existe entre las tres localidades, no encontrándose interacción entre materiales particulares y alguno de los ambientes (interacción genotipo x ambiente). La condición de sitio muy húmedo (>3,000 mm lluvia anual), de altitud intermedia (300-700 metros de elevación) es el ambiente donde la especie alcanza los mayores incrementos y vigor; en esta condición climática, los materiales de la colección mostraron claramente un crecimiento superior a la media nacional de la especie.

El uso de los materiales superiores de la colección podría representar una ganancia en algunos caracteres morfológicos en los árboles de Palo Blanco, lo que probablemente se traducirá en una mayor proporción de productos para uso industrial, con el consecuente incremento en la rentabilidad de plantaciones. El proceso de manipulación genética de la especie se encuentra en sus primeras etapas, visualizándose a futuro la generación de nuevos materiales producto del cruce entre las familias presentes en la colección; será necesario evaluar la heterogeneidad genética de los materiales conservados, así como la heredabilidad de características morfológicas deseables.

4.3 *Roseodendron donnell-smithii* responde de mejor forma cuando se cultiva en mezclas.

Plantaciones puras de *R. donnell-smithii* fueron promovidas intensamente durante el período 1997-2016. Debido a ello, Palo Blanco se convirtió en la especie nativa de mayor superficie plantada en Tierras Bajas y Húmedas en el país. Luego de los primeros 10 años de establecidas, más del 90 % de las plantaciones en monocultivo

con *R. donnell-smithii* habían fracasado, mostrando una alta tasa de mortalidad de plántulas en los primeros años, fuerte competencia con malezas herbáceas y lianas, requiriéndose continua remoción de la vegetación indeseable, aún en plantaciones en etapas posteriores a la fase de establecimiento, debido a la falta de capacidad del árbol de alcanzar el cierre de dosel en plantaciones de incluso 15 años de edad, lo que hace extremadamente caro su manejo en monocultivo. Adicionalmente, los árboles de la especie *R. donnell-smithii*, cuando jóvenes, parecen ser afectados negativamente por la exposición solar directa, desplegando copas de tamaño reducido tanto horizontal como verticalmente, mayor incidencia de enfermedades fungosas en follaje, fuste y ramas, así como mayor frecuencia de fustes quebrados por viento.

En respuesta al pobre desarrollo y altas tasas de mortalidad de los árboles de *R. donnell-smithii* en monocultivo, algunos productores tomaron la iniciativa de experimentar con esquemas alternativos para cultivar la especie, incluyendo el cubrir los claros dejados por los árboles muertos de Palo Blanco con plántulas de otras especies maderables, así como estableciendo en forma deliberada rodales mixtos, asociando árboles de *R. donnell-smithii* con otras especies arbóreas, para formar plantaciones madereras mixtas, y también en sistemas agroforestales, en asocio con cultivos agrícolas como café, caucho y pastizales para ganado vacuno.

Se encontró que, en los sistemas de cultivo mixto evaluados, ocurre una mejora sustancial en el desarrollo de Palo Blanco, mostrando mayor vigor y tasas más altas de crecimiento en diámetro y altura para la especie, así como incremento en la productividad global de rodal; al respecto se plantean dos posibles explicaciones: la primera es que el árbol requiere cierto grado de sombra durante sus etapas juveniles de desarrollo, lo que probablemente reduzca las tasas de transpiración.

La segunda interpretación es que el asocio a otras especies arbóreas aumenta la cobertura de dosel y reduce la cantidad de radiación solar que alcanza el piso del bosque, con lo cual se limita el desarrollo de vegetación indeseable en el sotobosque, que incluye hierbas y lianas que compiten por agua y nutrientes con los árboles jóvenes de Palo Blanco; adicionalmente, en el caso de las lianas, estas ejercen un efecto mecánico negativo sobre el Palo Blanco; el notorio vigor que usualmente se aprecia en árboles de *R. donnell-smithii* en plantaciones

agroforestales como en cafetales con sombra, puede ser resultado de la continua remoción de malezas y la fertilización que se aplican en estos sistemas.

En los ensayos evaluados en este trabajo, se pudo apreciar una mayor productividad de los rodales mixtos en relación a los monocultivos con Palo Blanco bajo diferentes condiciones de sitio; es probable que exista una ganancia en la eficiencia en el uso de recursos (radiación solar, agua y nutrientes) debido al efecto complementario que podría ocurrir entre especies maderables y entre los árboles y el cultivo agrícola, así como una reducción de la competencia intraespecífica.

4.4 El rendimiento de madera y valor comercial en árboles jóvenes de Palo Blanco son bajos.

La rentabilidad de plantaciones comerciales se define por el tipo y volumen de productos que pueden cosecharse; esta información es escasa para especies nativas del trópico húmedo, especialmente en árboles jóvenes. Como parte de la investigación, se generó un modelo para predecir el volumen total de madera que producen árboles individuales jóvenes de *R. donnell-smithii*, comprendidos entre 5 y 35 cm de diámetro a la altura del pecho, así como una estimación de la proporción del volumen total de esos árboles por tipo de producto comercial; esta información permitió evaluar el potencial comercial de plantaciones juveniles con la especie.

La proporción de productos que pueden cosecharse de un árbol lo define el tamaño de trozas; cuanto mayor el diámetro, el largo y rectitud de estas, mayor la proporción de productos a obtener para uso industrial. La asignación de valor comercial a una troza depende de restricciones impuestas por un diámetro mínimo, aunque algunas veces es el punto más bajo en el fuste del árbol donde aparezcan bifurcaciones o la presencia de ramas grandes, lo que previene la utilización industrial (Smith, 1986). Ambos aspectos son de gran relevancia para el uso de la madera de *R. donnell-smithii*, debido a que la especie presenta un patrón de crecimiento en altura en zigzag (modelo Koriba), lo que conduce a la formación de un fuste sinuoso, característico de árboles en etapa juvenil, aunque no observado posteriormente al madurar los árboles, debido a que la

oscilación desaparece por la adición de subsiguientes capas de madera con el tiempo.

Actualmente los aserraderos en Guatemala compran trozas de Palo Blanco con un diámetro mínimo de 25 centímetros en la zona sur del país y 38 centímetros en la zona de Ciudad Guatemala, donde se ubica la mayor parte de la industria de aserrío. Estos diámetros mínimos implican que, para poder vender trozas de la especie, se requieren DAP mínimos de entre 40 y 50 cm respectivamente, es decir árboles maduros de gran dimensión. Si se considera la producción de trozas para chapa, los DAP objetivo debieran ser aún mayores, probablemente entre 60 y 70 cm.

Los precios de la madera de *R. donnell-smithii* son muy variables, dependiendo de las dimensiones y el uso final. La oferta de madera de la especie históricamente ha sido reducida y continúa siéndolo, especialmente de árboles de gran tamaño. La cosecha y venta de trozas de dimensiones menores es una tarea difícil, para la cual de momento solo existen posibles productos para uso local: combustible (leña), sin ningún valor agregado, y trozas pequeñas, las que son procesadas frecuentemente en campo con motosierra para producir tablones de madera escuadrada (flitches), con bajos índices de eficiencia y también con escaso valor agregado.

El precio para trozas menores, para Mayo 2017, oscila entre Q1.60-Q1.80/m³, un valor intermedio entre las maderas secundarias (latifoliadas de menor valor comercial y pinos) y las maderas preciosas (especies de los géneros *Swietenia*, *Cedrela* y *Dalbergia*), estas últimas pueden alcanzar precios entre 3 y 5 veces el precio de *R. donnell-smithii* en fincas productoras, aun cuando los productos del aserrado no muestran diferencia tan marcada, con precios en ciudad Guatemala para madera aserrada de *R. donnell-smithii* en promedio alrededor de 50 % superior a la de Pino y 45 % del precio alcanzado por Caoba o Cedro.

CONCLUSIÓN

Luego de analizar varios de los factores relevantes para comprender el comportamiento del Palo Blanco, se desprende que es necesario un enfoque integral para el manejo de la especie. Se ha comprobado que la producción de maderas nativas valiosas tropicales es una tarea difícil debido a limitantes ecológicas, tecnológicas y socio-económicas. La sobre explotación de estos recursos en los bosques nativos ha conducido a considerar muchas de estas especies como “amenazadas”. Una de las principales rutas para abordar esta problemática ha sido el tratar de producir tales maderas escasas en diferentes arreglos de plantación, desarrollando un esquema durante las últimas dos décadas en las tierras bajas y húmedas de Guatemala con *R. donnell-smithii*, entre otras especies de madera valiosa.

Considerando que la producción de tales especies continuará ocurriendo localmente en pequeña escala, los volúmenes de madera para uso industrial que podrán producirse de estas especies no compite con los enormes volúmenes disponibles provenientes de especies ampliamente plantadas en monocultivos, como las especies de Pino, Teca o Eucaliptos. Sin embargo, la singularidad y propiedades físicas de las maderas tropicales valiosas, más no abundantes, les proporciona un nicho en el mercado de productos de alto valor agregado, incluyendo la industria de fabricación de muebles y gabinetes de cocina; para hacer sostenible su cultivo, se requiere un enfoque de cadenas de valor para aprovechar comercialmente su escasez.

Para ser atractiva la madera de *R. donnell-smithii* en el comercio internacional de chapa para muebles, donde la madera de especies tropicales valiosas alcanza los valores comerciales más altos como materia prima, se requieren trozas de diámetro mínimo en torno a 60 cm y 2.5 m. de longitud; considerando esas dimensiones, el DAP mínimo en árboles de Palo Blanco para cosecha final para el mercado internacional de chapa debiera ser de 55 cm. en trozas para aserrío y 70 cm. para chapa. Para alcanzar tales dimensiones, se requerirá un reducido número de árboles al final de la rotación, así como implementar una serie de prácticas de manejo que permita formar fustes rectos sin ramas bajas, por medio del tutoreo de árboles en

etapas juveniles. Con adecuado manejo, podría ser posible producir trozas industriales de alto valor en rotaciones de 25 a 35 años.

Se requiere profundizar el estudio de diferentes esquemas de cultivo con *R. donnell-smithii*. Los sistemas agroforestales parecieran ser la opción más viable, considerando los aspectos biológicos y financieros, al permitir reducir los riesgos de la producción por constituir sistemas mejor balanceados ambientalmente, y a la vez, capaces de atenuar las fluctuaciones cíclicas en los precios de los productos primarios, al generar diferentes productos en distintos momentos. En este sentido, la mezcla de árboles maderables con cultivos agrícolas permite obtener en periodos no prolongados un flujo continuo de efectivo que cubre los costos de mantenimiento del sistema durante la mayor parte del ciclo productivo, mientras la madera valiosa del estrato arbóreo superior alcanza su momento de cosecha.

Finalmente, es necesario propiciar procesos de investigación continuos para promover el cultivo sostenible de especies valiosas como el *R. donnell-smithii*. Aunque la implementación de subsidios gubernamentales -como los programas vigentes en Guatemala desde las últimas décadas- pueden en definitiva inducir a una expansión rápida del cultivo de especies forestales, y dentro de estas algunas nativas productoras de madera valiosa, este estímulo por si solo difícilmente podrá hacer sostenible un programa de reforestación, si no se acompaña de un programa paralelo de investigación en ecología y silvicultura de las especies, su procesamiento industrial y de comercialización en los productos de la madera.

De manera complementaria se requiere un esfuerzo consistente de extensión sobre métodos de cultivo de este tipo de árboles nativos de la región mesoamericana, para los cuales el conocimiento de su comportamiento y posibilidad de cultivo es escaso. El trabajo de extensión es esencial con productores pequeños y medios, quienes cuentan con pocos recursos y usualmente son proclives a adoptar el cultivo de especies como el *R. donnell-smithii*.

REFERENCIAS

- Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala (CONAP). (2019). *Propuesta de Trabajo sobre las Especies Maderables de Guatemala Incluidas en la Convención CITES del año 2019*. Guatemala: CONAP.
- Cordero J, Mesen F, Montero M, Stewart J, Boshier D, Chamberlain J, ... Detlefsen, G. (2003). Descripción de Especies de Árboles Nativos de América Central. En: J. Cordero y D. Boshier (Eds.), *Árboles de Centroamérica*, (pp. 915-916). Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
- Francis, J. (1989). *Tabebuia donnell-smithii* Rose. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Francis, J., y Lowe, C. (2000). *Silvics of Native and Exotic Trees of Puerto Rico and the Caribbean Islands, (General Technical Report IITF-15)*. Rio Piedras, Puerto Rico: United States Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, Honduras (FHIA)- (2007). *Uso de Especies Maderables Tropicales Latifoliadas como Sombra del Cacao*. La Lima, Honduras: FHIA.
- Ghazoul, J., y Sheil, D. (2010). *Tropical Rain Forest Ecology, Diversity, and Conservation*. New York: Oxford University Press Inc.
- Halle, F., Oldeman, R. A. A., y Tomlinson, P.B. (1978). *Tropical Trees and Forests: an Architectural Analysis*. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag
- Instituto Nacional de Bosques, Guatemala (INAB). (2017). *Estadísticas Programa Nacional de Incentivos Forestales*. Guatemala: INAB.
- Recuperado de The Plant List. (2013). The plant list *Version 1.1*. Recuperado el 17 junio 2016, de <http://www.theplantlist.org/1.1/about>

- Lamb, B. (1951). Primavera, Important Furniture Wood of Central America. *Th., Caribbean Forester*, 4, 75-83.
- López-Ayala, J.L., Valdez-Hernández, J., Terrazas, T., y Valdez-Lazalde, J.R. (2006b). Crecimiento en Diámetro de Especies Arbóreas en una Selva Mediana Subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40, 139-147.
- Mabberley, D. (2008). *Mabberley's Plant-Book*. (3 Ed.) UK: Cambridge University Press.
- Miranda, F. (1975). *La Vegetación de Chiapas*, (pp 168-169). (2 Ed.). Tuxtla Gutierrez, México: Editorial del Gobierno del Estado de Chiapas.
- Montagnini, F., y Jordan, C. (2005). *Tropical Forest Ecology: The Basis for Conservation and Management*. Berlin: Springer.
- Pennington, T., y Sarukhan, J. (1998). *Árboles Tropicales de México, Manual para la Identificación de las Principales Especies* (2 Ed.). México: Fondo de Cultura Económica.
- Smith, D. (1986). *The Practice of Silviculture* (8 ed.). New York: John Wiley.
- Standley, P., Williams L., y Nash-Gibson, D. (1974). *Flora of Guatemala*, (24, Part 10, 3-4). Chicago: Chicago Natural History Museum, Fieldiana Botany.
- The Wood Database. (2016). *Propiedades Físico-Mecánicas y usos Industriales de la Madera de Roseodendron donnell-smithii*. Recuperado de <http://www.wood-database.com/>



Bioprospección de hiperparásitos de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) en reservas naturales voluntarias de fincas cafetaleras en Guatemala

Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela¹
Soren Sherwood Ramírez Barillas²
José Miguel Escobar Sandoval³

Recibido el 09 de marzo de 2018.

Aprobado el 16 de junio de 2020.

¹Ingeniero Agrónomo, Profesor Titular, Facultad de Agronomía, USAC
gusialvarez@yahoo.com

²Investigador Adjunto.

³Asistente de investigación.

RESUMEN

La bioprospección de agentes de control biológico es una actividad primaria en la búsqueda de alternativas para el manejo de plagas, enfermedades y las reservas naturales dentro de plantaciones de café por las características de biodiversidad, son aptas para albergar diversidad microbiana. El estudio se realizó en 10 fincas con reservas naturales con café, cinco de Guatemala, cuatro de Sacatepéquez y una de Chimaltenango, el muestreo se realizó en época seca y lluviosa; se obtuvo y documentó la presencia de agentes biocontroladores y en el laboratorio se determinaron los hiperparásitos: *Cladosporium hemileiae* Steyaert y *Lecanicillium lecanii* (Zimmerm.) Zare & W. Gams., además de un insecto micófago: *Mycodiplosis* sp. (Diptera, Cecidomyiidae). *C. hemileiae*, se detectó en nueve de los 10 sitios muestreados en la época seca y uno en época lluviosa, *L. lecanii*, se detectó en seis sitios muestreados en época seca y cinco en lluviosa. Después de los análisis de índice de velocidad de crecimiento micelial (IVCM) y producción de conidiosporas, se estableció que las mejores cepas de *C. hemileiae*, fueron: Morán época seca parte baja, San Sebastián época seca y Guardabarranca parte alta, para *L. lecanii*, fueron: San Sebastián época seca y Corral Viejo estación lluviosa parte baja.

Palabras clave: Roya del café; *Hemilia vastatrix*; Parasitoides; *Cladosporium hemileiae*; *Lecanicillium lecanii*; *Mycodiplosis*; Control biológico.

ABSTRACT

Bioprospecting of biological control agents is a primary activity in the search of alternatives for the management of pests and diseases and natural reserves within coffee plantations due to the characteristics of biodiversity, they are suitable for harboring microbial diversity. The study was carried out in 10 plantations with natural reserves with coffee, five in Guatemala four in Sacatepéquez and one in Chimaltenango, the samples were carried out in dry and rainy season, the presence of biological control agents was obtained and documented. Hyperparasites were found in the laboratory: *Cladosporium hemileiae* Steyaert, and *Lecanicillium lecanii* (Zimmern.) Zare & W. Gams., in addition to a fungivorous insect: *Mycodiplosis* sp. (Diptera, Cecidomyiidae), *C. hemileiae*, was detected in 9 of the 10 sampled sites in the dry season and one in the rainy season. *L. lecanii*, was detected in six sampled sites in dry season and five in rainy season. After the analysis of the mycelial growth rate index and conidiospores production, it was established that the best strains of *C. hemileiae*, were in: Morán in dry season, low part and in Corral Viejo in rainy season in low part.

Key words: Coffee rust; *Hemilia vastatrix*; Parasitoids; *Cladosporium hemileiae*; *Lecanicillium lecanii*; *Mycodiplosis*; Biologic control.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala el cultivo de café es considerado de los más importantes, generando fuentes de trabajo y divisas producto del comercio internacional, desde 1980 a la fecha la enfermedad conocida como roya del café se ha propagado a todas las áreas cafetaleras del país lo que ha ocasionado pérdidas en la producción que seguirán incrementándose a medida que las condiciones favorables persistan (Asociación Nacional del Café [ANACAFE], 2013).

La roya del café es una enfermedad causada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome un parásito obligado que ataca las hojas del género *Coffea*. Entre las especies cultivadas *C. arabica* es la más afectada. La enfermedad causa defoliación y cuando es aguda causa la muerte de las ramas lo que puede conducir a la muerte de la planta. La infección de *H. vastatrix* se da por medio de uredosporas y el primer síntoma son pequeñas lesiones amarillentas que aparecen en el envés de las hojas cuando el hongo ha logrado penetrar a través de las estomas, estas lesiones crecen y llegan a unirse produciendo uredosporas de un color anaranjado característico, manchas cloróticas se pueden observar en el haz de las hojas y en la etapa final de la enfermedad las lesiones se vuelven necróticas. La epidemia de la roya del café afecta a países como Colombia desde 2008 y América Central y México desde el año 2012 a la fecha. Existen muchos factores que contribuyen al desarrollo de la epidemia, entre ellos el manejo del cultivo, las condiciones climáticas y la economía. En el año 2013-2014 la producción se redujo en Colombia en un 31% y en América Central en un 16% (Avelino 2015).

El control de la roya por medio de fungicidas sintéticos es de alto costo y no es permisible para la mayoría de medianos y pequeños productores, además genera contaminación ambiental y a humanos; entre las alternativas para el manejo de *H. vastatrix* están los agentes de control biológico y Guatemala se han reportado estudios en los que se evidencia el antagonismo de microorganismos con la roya, sin embargo, ninguno ha tenido impacto en el manejo del cultivo (Rolz, De León, & Paniagua, 2013).

Para resolver dicha situación fue necesario realizar una bioprospección de hiperparásitos efectuando una búsqueda sistemática, clasificación e investigación

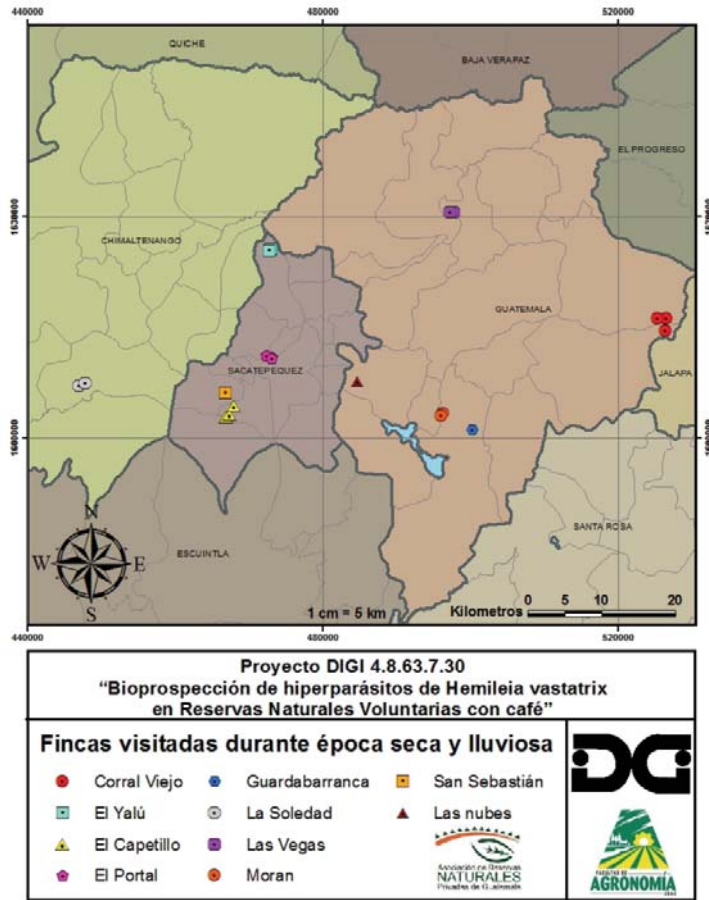
de nuevos componentes que se encuentran en la diversidad biológica y que poseen un valor económico (Castree, 2003). Las fincas cafetaleras afectadas por roya que poseen áreas de reserva natural brindan la posibilidad de encontrar agentes de control biológico ya que la biodiversidad en bosques naturales es mayor que en áreas cultivadas, el objeto de este estudio fue detectar cepas de microorganismos específicos para la roya del café con posibilidad de ser propagados en forma masiva, formulados como fungicidas para proporcionar alternativas de manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

La colecta de las muestras se realizó durante la época seca y lluviosa en 10 fincas con reserva natural privada como se observa en la Figura 1, que corresponden a La Soledad ubicada en el departamento de Chimaltenango, Las Nubes, Las Vegas, Guardabarranca, Morán y Corral Viejo, ubicadas en el departamento de Guatemala, El Yalú, El Capetillo, San Sebastián y El Portal ubicadas en el departamento de Sacatepéquez. La ubicación geográfica se obtuvo con el equipo GARMIN GPSMAP®62sc, las coordenadas de latitud y longitud se determinaron para cada unidad de muestreo donde se realizó la bioprospección.

Se utilizó el método de muestreo dirigido y ubicando las plantas cercanas a las reservas naturales considerando que la probabilidad de desplazamiento de las especies depredadoras es mayor. Se observó el estrato bajo, medio y alto de plantas con signos y síntomas de roya y el condicionante para la captación de muestras fue la existencia de al menos una de las pústulas de roya manifestando depresión o daño provocado por algún agente biológico. Las muestras fueron colocadas en papel periódico humedecido dentro bolsas de plástico y cada una fue identificada con un código según la unidad de muestreo y localización geográfica. Posteriormente las muestras fueron trasladadas hacia el Centro de Diagnóstico Parasitológico de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala para su procesamiento.



Fuente: Elaborado en base a MAGA (2000).

Figura 1. Sitios de muestreo visitados durante época seca y lluviosa.

Determinación de hiperparásitos

Las muestras fueron clasificadas, ordenadas y observadas en estereoscopio para la detección de estructuras de reproducción correspondientes a biocontroladores, posteriormente se procedió a realizar montajes de estas estructuras que se observaron en el microscopio y se cotejaron con las claves morfológicas de Heuchert, Braun & Schubert (2005) para *Cladosporium hemileiae* Steyaert (*Digitopodium* U. Braun, Heuchert & K. Schub., gen. nov.); Zare & Gams (2001) para *Lecanicillium lecanii* (Zimmerm.) Zare & W. Gams y Gagné (1982) para *Mycodiplosis* sp. Las muestras vegetales con presencia de hiperparásitos fueron separadas, una parte herborizada y la otra sirvió para el proceso de aislamiento y purificación.

Aislamiento y cultivos monospóricos

Según técnica descrita por Goh (1999) y modificada por Álvarez (2015) se tomaron pústulas de *H. vastatrix* parasitadas con biocontroladores y con ayuda de una aguja de disección estéril se transfirieron esporas a una caja Petri de 90 x 15 mm con medio agar-agua al 3 % (A-A). Con aguja de vidrio estéril bajo el estereoscopio se arrastraron las esporas, se sellaron las cajas y se colocaron en la incubadora a 26 °C. A las 24 horas del aislamiento se transfirieron 5 esporas a 5 cajas Petri en medio PDA para obtener cultivos monospóricos. La Figura 2 muestra aislamiento y cultivos monospóricos obtenidos de las cepas colectadas.

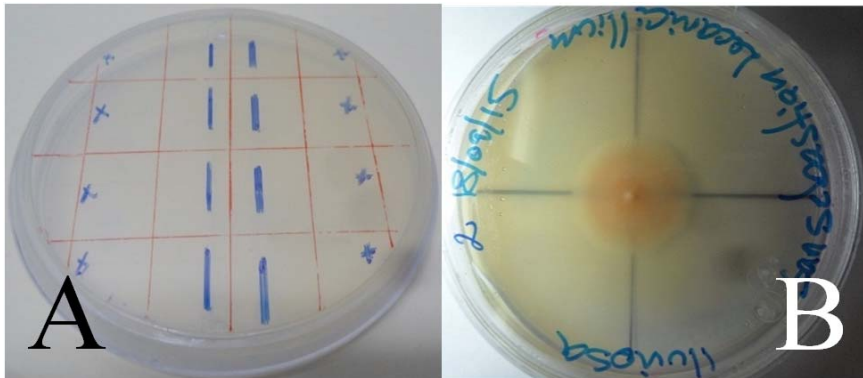


Figura 2. A) Aislamiento de hiperparásitos, B) Cultivo monospórico utilizado para la obtención de IVCM y producción de conidiosporas.

Índice de velocidad de crecimiento micelial (IVCM)

Se midió el IVCM de los cultivos monospóricos que contenían las cepas colectadas de diferentes localidades para evaluar el potencial de crecimiento en intervalos de tiempo de tres, cinco y siete días, siguiendo un modelo estadístico completamente al azar. El IVCM fue calculado utilizando la fórmula de Maguire, adaptada por Oliveira (1991).

$$\text{IVCM} = \sum(D - D_a) / N$$

Dónde: D=diámetro medio actual (mm), D_a =diámetro medio del día anterior (mm), N=número de días después de la inoculación en medio de cultivo (días).

Producción de conidiosporas

El conteo de conidiosporas se realizó a los 55 días de la siembra de cultivos monospóricos, cuando la cepa cubrió en su totalidad el medio en la caja Petri, se realizó suspensión de esporas en 50 ml de solución Tween 20 al 0.05 % en agua destilada para desprender, separar y dispersar las esporas. El conteo de conidiosporas se realizó utilizando cámara de Neubauer. Los datos del conteo se transformaron a logaritmo natural (ln) para hacer entendibles los resultados del análisis de varianza ya que tienen una distribución de Poisson.

Análisis de la información

La información se procesó por medio del software Info Stat® realizando análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), para determinar diferencias en los crecimientos y la producción de conidiosporas resultado de su ubicación y época de muestreo.

RESULTADOS

Agentes biocontroladores determinados

Durante el estudio se detectaron tres organismos que parasitan la roya del café en los sitios bajo estudio, de estos, dos son hongos (Figuras 3 y 4): *Cladosporium hemileiae* Steyaert (Digitopodium U. Braun, Heuchert & K. Schub., gen. Nov.) y *Lecanicillium lecanii* (Zimmerm.) Zare & W. Gams., el tercero es un insecto (Figura 5): *Mycodiplosis* sp. (Diptera, Cecidomyiidae) (Gagné, 1981), los cuales se presentaron en la mayoría de las unidades bajo muestreo, a excepción de una donde no se reportaron biocontroladores.

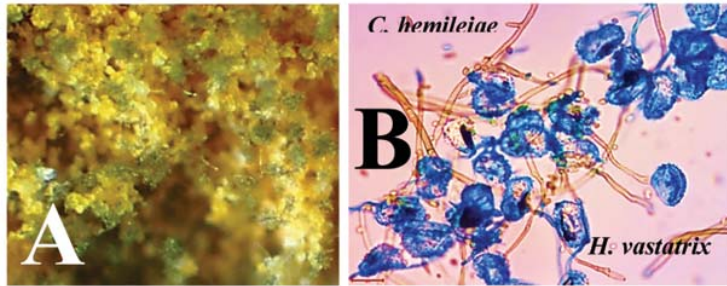


Figura 3. A) *C. hemileiae* (micelio oscuro) parasitando *H. vastatrix*, B) Uredosporas de *H. vastatrix* colapsadas por *C. hemileiae*.

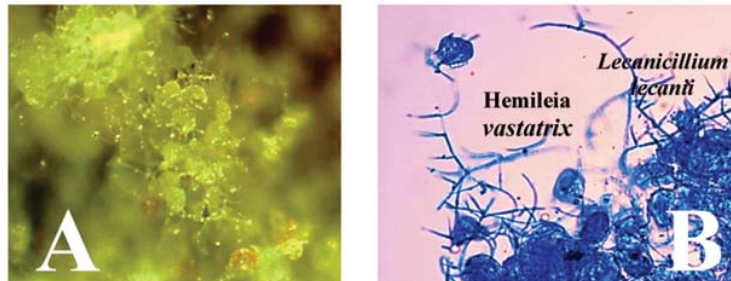


Figura 4. A) *L. lecanii* parasitando *H. vastatrix*, B) Vista microscópica de *L. lecanii* sobre *H. vastatrix*.



Figura 5. *Mycodiplosis* sp. alimentándose de *H. vastatrix*.

Prevalencia de biocontroladores

La presencia de los agentes biocontroladores se evidenció en función de las muestras donde fueron localizados, según la época de muestreo y el agente detectado, *C. hemileiae*, fue localizado con mayor prevalencia en la época seca, *L. lecanii*, en época seca con presencia moderada y en época lluviosa se hizo más frecuente; en el caso de *Mycodiplosis* sp., tuvo prevalencia a lo largo de todo el muestreo independientemente de la época. En las Tablas 1 y 2 se muestran los datos de procedencia de la muestra y prevalencia expresada en porcentaje.

Tabla 1. Prevalencia de hiperparásitos en época seca (marzo – mayo)2015.

No.	Ubicación (fincas)	<i>Lecanicillium lecanii</i> (%)	<i>Cladosporium hemileiae</i> (%)	<i>Mycodiplosis</i> sp. (%)
1	Las Nubes	0	60	40
2	Las Vegas	10	21	69
3	Guardabarranca	0	20	80
4	Moran	1	92	7
5	El Yalú	0	0	100
6	La Soledad	15	10	75
7	Corral Viejo	0	13	88
8	El Capetillo	8	23	69
9	San Sebastián	12	50	38
10	El Portal	7	28	65

Tabla 2. Prevalencia de hiperparásitos en época lluviosa (junio – septiembre) 2015.

No.	Ubicación (fincas)	<i>Lecanicillium lecanii</i> (%)	<i>Cladosporium hemileiae</i> (%)	<i>Mycodiplosis</i> sp. (%)
1	Las Nubes	0	0	100
2	Las Vegas	0	0	100
3	Guardabarranca	0	17	83
4	Moran	0	0	100
5	El Yalú	0	0	0
6	La Soledad	59	0	41
7	Corral Viejo	8	0	92
8	El Capetillo	73	0	27
9	San Sebastián	32	0	68
10	El Portal	21	0	79

Evaluación del índice de velocidad de crecimiento micelial (IVCM)

Según los análisis realizados se estableció que la mejor cepa de *C. hemileiae*, para esta variable es La Soledad estación seca y para *L. lecanii*, la mejor cepa es la procedente de San Sebastián época seca. En las Tablas 3 y 4 se muestra la cepas analizadas, número de repeticiones, medias, desviación estándar, prueba Tukey, valor p y coeficiente de variación.

Tabla 3. Análisis de varianza y prueba Tukey de datos de IVCM de *C. hemileiae* en época seca y lluviosa.

Cepa <i>C. hemileiae</i>	n	Medias	*D.E	**Tukey ($\alpha=0.05$)								
La Soledad es	5	3.00	± 0.1	A								
El Portal es	5	2.67	± 0.1	A	B							
Morán es pb	5	2.44	± 0.1		B	C						
San Sebastián es	5	2.37	± 0.1		B	C	D					
Las Vegas es	5	2.32	± 0.1		B	C	D					
Guardabarranca ell pa	5	2.16	± 0.1			C	D	E				
El Capetillo es	5	2.06	± 0.1			C	D	E	F			
Las Nubes es	5	2.05	± 0.1			C	D	E	F			
Guardabarranca es pb	5	1.95	± 0.1				D	E	F			
Corral Viejo es	5	1.78	± 0.1					E	F			
Guardabarranca es pa	5	1.62	± 0.1						F			
Morán es pa	5	1.12	± 0.1									G

*Desviación Estándar

**Fincas con la misma letra no difieren significativamente entre ese grupo ($p > 0.05$) (C.V.=0.02) promedios con límite de confianza al 95%, estación seca (es), estación lluviosa (ell), parte baja (pb) y parte alta (pa).

Tabla 4. Análisis de varianza y prueba Tukey de datos de IVCN de *L. lecanii* en época seca y lluviosa.

Cepa <i>L. lecanii</i>	n	Medias	*D.E	**Tukey ($\alpha=0.05$)
San Sebastián es	5	4.34	±0.04	A
San Sebastián ell	5	4.11	±0.04	B
Corral Viejo ell pb	5	1.98	±0.04	C
Las Vegas ell	5	1.94	±0.04	C
Morán es pb	5	1.50	±0.04	D
El Portal ell	5	1.45	±0.04	D
El Capetillo ell	5	1.41	±0.04	D
El Portal es	5	1.19	±0.04	E
La Soledad es	5	1.03	±0.04	E
La Soledad ell	5	0.73	±0.04	F
Corral Viejo es pb	5	0.68	±0.04	F

*Desviación Estándar.

**Fincas con la misma letra no difieren significativamente entre ese grupo ($p>0.05$) (C.V.=5.27) promedios con límite de confianza al 95%, estación seca (es), estación lluviosa (ell), parte baja (pb) y parte alta (pa).

Conteo de conidiosporas

Según los análisis realizados se estableció que la mejor cepa de *C. hemileiae*, para esta variable es Guardabarranca época seca parte baja y para *L. lecanii*, fue Corral Viejo época seca parte baja. En las Tablas 5 y 6 se muestra la cepa analizada, número de repeticiones, medias, desviación estándar, prueba Tukey, valor p y coeficiente de variación.

Tabla 5. Análisis de varianza y prueba Tukey del conteo de conidiosporas de *C. hemileiae* en época seca y lluviosa.

Cepa <i>C. hemileiae</i>	n	*Medias	**D.E	***Tukey ($\alpha=0.05$)		
Guardabarranca es pb	3	19.08	± 0.27			
El Capetillo es	3	18.74	± 0.27	A		
Guardabarranca es pa	3	18.60	± 0.27	A	B	
Morán es pb	3	18.44	± 0.27	A	B	
Corral Viejo es	3	18.36	± 0.27	A	B	
San Sebastián es	3	18.20	± 0.27	A	B	C
La Soledad es	3	17.94	± 0.27	A	B	C
Guardabarranca ell pa	3	17.90	± 0.27	A	B	C
El Portal es	3	17.23	± 0.27		B	C
Las Vegas es	3	16.87	± 0.27			C D
Las Nubes es	3	15.69	± 0.27			D E
Morán es pa	3	14.54	± 0.27			E

*Logaritmo natural del conteo de conidiosporas

**Desviación Estándar

***Lugares con la misma letra no difieren significativamente ($p > 0.05$) (C.V.=2.67) promedios con límite de confianza al 95% estación seca (es) estación lluviosa (ell) parte baja (pb) parte alta (pa).**Tabla 6.** Análisis de varianza y prueba de Tukey del conteo de conidiosporas de *L. lecanii* en época seca y lluviosa.

Cepa <i>L. lecanii</i>	n	*Medias	**D.E	***Tukey ($\alpha=0.05$)		
Corral Viejo es pb	3	19.53	± 0.22	A		
San Sebastián es	3	19.24	± 0.22	A	B	
La Soledad ell	3	18.80	± 0.22	A	B	
El Capetillo ell	3	18.65	± 0.22	A	B	
El Portal ell	3	18.64	± 0.22	A	B	
La Soledad es	3	18.26	± 0.22		B	C
El Portal es	3	17.45	± 0.22		C	D
Morán es pb	3	16.78	± 0.22			D E
Las Vegas ell	3	16.45	± 0.22			D E F
Corral Viejo ell pb	3	15.93	± 0.22			E F
San Sebastián ell	3	15.62	± 0.22			F

*Logaritmo natural del conteo de conidiosporas

**Desviación Estándar

***Lugares con la misma letra no difieren significativamente ($p > 0.05$) (C.V.=2.13) promedios con límite de confianza al 95% estación seca (es), estación lluviosa (ell), parte baja (pb) y parte alta (pa).

DISCUSIÓN

El presente estudio es el primero en Guatemala y uno de los pioneros a nivel mundial en reportar a *Cladosporium hemileiae* como hiperparásito de la roya del café y es la primera vez que se somete dicho agente biocontrolador a pruebas de laboratorio para establecer el comportamiento *in vitro* con miras a utilizarlo como una alternativa de control biológico y se considera un hallazgo de importancia para la caficultura nacional.

Son pocos los estudios realizados a nivel mundial sobre esta especie. Steyaert (1930) y Haddad, Saraiva, Mizubuti, Romeiro, y Maffia, (2014) lo mencionan como parásito y antagonista de *H. vastatrix*. En cuanto a IVCM, Alvarez, Santos y Centes (2015) reportan que una especie diferente, *Cladosporium uredinicola* obtuvo crecimientos máximos de 1.87 mm/día, mientras que en este estudio se reportan crecimientos máximos de 3mm/día con una desviación estándar ± 0.1 evidenciándose cepas con mayor virulencia y poca variabilidad.

L. lecaniise ha citado ampliamente, en Chiapas, México se hace referencia al control biológico indirecto que aparentemente existe sobre *H. vastatrix* que es potenciado por la existencia de relaciones mutualistas de la hormiga *Atta instabilis* y la escama verde del café *C. viridi.*, Jackson, Skillman y Vandermeer (2012); Vandermeer, Perfecto y Liere (2009); Jackson, Zemenick y Huerta (2012), demuestran en ensayos realizados que para que haya un parasitismo por parte de *L. lecanii* son necesarias, además de condiciones atmosféricas y del ecosistema del cafetal dos condiciones que son: (a) que se mantenga permanentemente en el suelo de las plantaciones una densidad elevada del hiperparásito y (b) que estén presentes los vectores (principalmente insectos) que transporten el hongo del suelo a las hojas infectadas. Por lo tanto según los resultados del presente estudio se puede ver una convergencia de las condiciones anteriormente expresadas en las cepas colectadas en época lluviosa.

En Costa Rica, Cuba y México Canjura, Sánchez, Krauss y Somarriba (2002); González y Surís (2007); Díaz-Vicente (2014) han reportado aislamiento, selección de cepas para reproducción masiva, formulación de fungicidas biológicos y pruebas en campo con resultados variados.

Mycodiplosis sp. ha sido reportado como un insecto micofago con variedad de hospederos y se ha sugerido el posible uso como biocontrolador de la roya del trigo por Kaushal, Mishra, Varma, Kapoor y Pandey (2001), sin embargo se menciona el poco conocimiento acerca del rol ecológico de las larvas que tienen sobre la roya. La voracidad con que se alimentan de las esporas puede ejercer un impacto negativo en la enfermedad, sin embargo, si las moscas transmiten la enfermedad más eficientemente que el viento, el consumo de esporas de la larva quedaría en segundo plano (Henk, Farr, & Aime, 2011).

El estudio estableció el índice de prevalencia de los agentes detectados en distintas épocas del año. *C. hemileiae* estuvo presente en nueve de 10 sitios muestreados en época seca y uno en época lluviosa, *L. lecanii* estuvo presente en seis de 10 sitios muestreados en época seca y cinco en la lluviosa, *Mycodiplosis* sp. estuvo presente en los 10 sitios muestreados en época seca y 9 en época lluviosa; los resultados nos indican que existe una preferencia de época en cuanto a los biocontroladores, siendo más prevalente *C. hemileiae* en época seca y *L. lecanii* en época seca con prevalencia moderada y en época lluviosa más frecuente.

El análisis de varianza del IVCN y producción de conidiosporas identificó las cepas que crecieron a una mayor velocidad y las que produjeron mayor cantidad de conidiosporas; para *C. hemileiae* las cepas La Soledad época seca y El Portal época seca tuvieron los mayores crecimientos, sin embargo, su producción de conidiosporas fue muy baja, en cambio, Morán época seca parte baja y San Sebastián época seca mostraron buen índice de crecimiento miceliar y producción de conidiosporas, además, una tercera cepa se seleccionó debido a que fue la única que prevaleció en época seca y lluviosa que corresponde a Guardabarranca parte alta, demostrando adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas.

Para *L. lecanii* las cepas San Sebastián época seca y Corral Viejo época lluviosa parte baja tuvieron los crecimientos más altos y la mejor producción de conidiosporas.

Los resultados de la investigación promueven alternativas de manejo para la roya del café, deberá probarse su reproducción masiva, su efectividad en campo, la época del año en la cual son exitosos y si solos o en combinación con otros microorganismos logran un efecto significativo en el inóculo inicial y en temporadas de alta prevalencia de *H. vastatrix*.

REFERENCIAS

- Alvarez, G. A., Santos, M. C., & Centes, L. F. (2015). *Extracción y Formulación Artesanal de Cladosporium uredinicola Biocontrolador de Puccinia horiana*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación.
- Asociación Nacional del Café, Guatemala (ANACAFE). (2013). *Memoria de Labores 2012/2013*. Guatemala: ANACAFE.
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Morales, C. (2015). The Coffee Rust Crises in Colombia and Central América (2008-2013): Impacts, Plausible Causes and Proposed Solutions. *Food Security*, 7(2), 303-321. doi:10.1007/s12571-015-0446-9
- Canjura, E. M., Sánchez, V., Krauss, U., & Somarriba, E. (2002). Reproducción Masiva de *Verticillium* sp., Hiperparásito de la Roya del Café, *Hemileia vastatrix*. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, no. 66, 13-19.
- Castree, N. (2003). Bioprospecting: from Theory to Practice (and Back Again). *Transactions of the Institute of British Geographers*, 28(1), 35-55.
- Díaz-Vicente, V. M., Pinzón-Rincón, E. P., Pérez-Quintanilla, J. N., Cabrera-Alvarado, M. E., Magallanes-Cedeño, R., & De Coss-Flores, M. E. (2014). El Hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet, Alternativa para el Control de la Roya del Cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.). *Agroproductividad*, 58-62.
- Gagné, R. J. (1981). Key to Families-Adults. En B. R. Institute, *Manual of Nearctic Diptera* (v. 1, Pp. 674). Ottawa: Canadian Government Publishing Centre.
- Goh, T. K. (1999). Single-Spore Isolation Using a Hand-made Glass Needle. *Fungal Diversity* 2, 47-63.
- González, E., & Surís, M. (2007). Selección *in vitro* de Aislamientos Promisorios de *Lecanicillium lecanii* (Zare y Gams) para la Lucha Biológica de *Hemileia vastatrix* (Berk. et Br.). *Protección Vegetal*, 22(2), 128-130.
- Haddad, F., Saraiva, R. M., Mizubuti, E. S., Romeiro, R. S., & Maffia, L. A. (2014). Isolation and Selection of *Hemileia vastatrix* Antagonists. *European Journal of Plant Pathology*, 139 (4), 763-772.
- Henk, D. A., Farr, D. F., & Aime, M. C. (2011). Mycodiplosis (Diptera) infestation of rust fungi is frequent, wide spread and possibly host specific. *Fungal Ecology*, 4(4), 284-289.
- Heuchert, B., Braun, U., & Schubert, K. (2005). Morphotaxonomic Revision of Fungicolous *Cladosporium* Species (Hyphomycetes). *Schlechtendalia*, 78.
- Jackson, D., Skillman, J., & Vandermeer, J. (2012). Indirect Biological Control of the Coffee Leaf Rust, *Hemileia vastatrix*, by the Entomogenous Fungus

- Lecanicillium lecanii in a Complex Coffee Agroecosystem. *Biological Control* (61), 89-97.
- Jackson, D., Zemenick, K., & Huerta, G. (2012). Occurrence in the Soil and Dispersal of *Lecanicillium lecanii*, a Fungal Pathogen of the Green Coffee Scale (*Coccus viridis*) and Coffee Rust (*Hemileia vastatrix*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, (15), 389-401.
- Kaushal, K., Mishra, A. N., Varma, P. K., Kapoor, K. N., & Pandey, H. N. (2001). Diptera Fly (*Mycodiplosis* sp.): a Natural Bioagent for Controlling Leaf Rust (*Puccinia recondita tritici*) of Wheat (*Triticum aestivum*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 71(2), 136-138.
- McCook, S. (2006). Global Rust Belt: *Hemileia vastatrix* and the Ecological Integration of World Coffee Production Since 1850. *Journal of Global History*, (1), 177-195. doi:10.1017/s174002280600012x
- Oliveira, J. A. (1991). *Efeito do Tratamento Fungicida em Sementes e no Controle de Tombamento de Pantulas de Pepino (Cucumis sativus L.) e Pimentão (Capsicum annuum L.)*. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- Rolz, C. E., De León, L. R., & Paniagua, O. (2013). Evidencia de un Antagonismo *in vitro* de Especies de *Trichoderma* Contra *Hemileia vastatrix* (Roya del Café). *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*. no. 25, 61-65. Recuperado de http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero25/8_evidencia%20de%20un.pdf
- Rolz, C. E., De León, L. R., & Paniagua, O. (2013). Evidencia de un Antagonismo *in vitro* de Especies de *Trichoderma* Contra *Hemileia vastatrix* (Roya del Café). *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, no. 25, 61-65. Recuperado de http://uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/numero25/8_evidencia%20de%20un.pdf
- Vandermeer, J., Perfecto, I., & Liere, H. (2009). Evidence for Hyperparasitism of Coffee Rust (*Hemileia vastatrix*) by the Entomogenous Fungus, *Lecanicillium lecanii*, Through a Complex Ecological Web. *Plant Pathology* (58), 636-641.
- Zare, R., & Gams, W. (2001). A Revision of *Verticillium* Section *Prostrata*. IV. The Genera *Lecanicillium* and *Simplicillium* gen. nov. *Nova Hedwigia*, 73(1), 1-50.

AGRADECIMIENTOS

A la Asociación de Reservas Naturales Privadas –ARNPG– por el apoyo brindado y a la Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación –DIGI– por el financiamiento del proyecto 4.8.63.7.30 en el Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas.



Inicio y término de la época lluviosa (IELL, TELL) en los estratos de la zona cañera de Guatemala

Paris Francisco Rivera Ramos¹
Wener Armando Ochoa Orozco²
Bayron Geovany González Chavajay³
Marvin Roberto Salguero Barahona⁴

Recibido el 09 de marzo de 2018.

Aprobado el 16 de junio de 2020.

¹ Doctorando en Cambio Climático, M.Sc. en Recurso Hidráulicos, Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

² Doctorando en Cambio Climático, Facultad de Ingeniería; M.Sc. en Gestión Ambiental Local, Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

³ Maestrando en Gestión de Recursos Hidrogeológicos, Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables. Auxiliar de Investigación Científica, Centro de Estudios Urbanos y Regionales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

⁴ Doctor en Gestión Integrada y Gobernabilidad de Recursos Hídricos. Profesor Titular, Subárea de Suelo y Agua, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

RESUMEN

Este estudio se enfocó en la planicie del Pacífico de Guatemala, que incluye la zona cañera y busca responder la interrogante ¿Cuál es el inicio y terminación de la época lluviosa? Para ello se caracterizó el comportamiento temporal de las precipitaciones pluviales (PP), determinando el inicio y la terminación de la época de lluvias en cada estrato altitudinal del cultivo de caña con el propósito de contribuir a la planificación del comienzo y fin de la zafra. Se utilizaron datos de precipitación diaria de 19 estaciones pluviométricas del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, las cuales fueron seleccionadas con base a su temporalidad y calidad de la información en el período de análisis, de los años 2007 al 2017. Se estableció para cada estrato péntadas y acumulación de perturbaciones de precipitación. Obteniendo, en el estrato alto (300 a 700 ms. n.m.), el IELL se presenta entre el 20-25 de abril y la TELL entre el 5-10 de noviembre, con una duración promedio de 201 días. El IELL en el estrato medio (100 a 300 ms. n.m.) se observa entre 25-30 abril y la TELL entre 5-10 noviembre con una duración de 196 días. El estrato bajo (40 a 100 ms. n.m.), el IELL se establece entre el 5-10 mayo y la TELL entre 1-5 noviembre con una duración de 176 días. En el estrato litoral (debajo de 40 ms.n.m.) el IELL se presenta del 20-25 mayo y la TELL del 25-30 octubre con una duración de 160 días.

Palabras clave: Guatemala; Lluvia; Análisis de datos; Análisis comparativo; Efectos dañinos del ambiente.

ABSTRACT

This study focused on the Pacific plain of Guatemala, which includes the sugarcane area and seeks to answer the question: What is the beginning and end of the rainy season? To this end, the temporal behavior of rainfall (PP) was characterized, determining the start and end of the rainy season in each altitudinal stratum of the cane crop with the purpose of contributing to the planning of the start and end of the harvest. Daily rainfall data from 19 rainfall stations of the Private Research Institute on Climate Change were used, which were selected based on their temporality and quality of the information in the analysis period, from 2007 to 2017. It was established for each stratum and accumulation of precipitation disturbances. Obtaining, in the high stratum (300 to 700 ms. n.m.), The IELL is presented between April 20-25 and TELL between November 5-10, with an average duration of 201 days. The IELL in the middle stratum (100 to 300 ms. n.m.) is observed between 25-30 April and the TELL 5-10 November with a duration of 196 days. The low stratum (40 to 100 ms. n.m.), the IELL is established between 5-10 May and the TELL between 1-5 November with a duration of 176 days. In the coastal stratum (below 40 ms.n.m.) the IELL is presented from 20-25 May and the TELL from 25-30 October with a duration of 160 days.

Key words: Guatemala; Rain; Analysis of data; Comparative analysis; Harmful effects of the environment.

INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola en el sur de Guatemala está sujeta a las variaciones de la precipitación pluvial, por el requerimiento significativo del bien hídrico que demanda el cultivo de la caña de azúcar, aunque polémica desde el punto de vista socioambiental, es una de las principales producciones en la región. En los últimos años cada vez más es evidente que la dinámica de la precipitación pluvial afecta la actividad agrícola, según su temporalidad, cantidad e intensidad (Zhao & Li, 2015). En el caso de las precipitaciones, su temporalidad, cantidad e intensidad, definen en gran parte la producción, rendimiento y eficiencia de las actividades agrícolas. Los cambios en las variables climáticas relacionadas con la producción de cultivos posiblemente tendrán importantes influencias en la región también como producción mundial de alimentos (Kang, Khan, & Maa, 2009). Por lo tanto, el establecimiento cuantitativo de relaciones entre la variabilidad climática y los valores de rendimiento de los cultivos es vital por la importancia económica de los cultivos y el interés en futuro de la agricultura bajo posible cambio climático en el siglo veintiuno (Greenland, 2005). Países como Brasil han determinado que el clima ha sido el principal factor que afecta la producción de caña de azúcar en las últimas temporadas (SIB, 2016). La temporada 2009/10 estuvo marcada por varios períodos con un gran excedente de agua asociado con un evento de El Niño, mientras que en los años 2010/11 presentó una intensa y prolongada sequía, asociada con un evento de La Niña (Cardozo & Sentelhas, 2013). Se ha definido que los factores climáticos explicaron el 43 % de la variabilidad de la eficiencia del rendimiento de la caña de azúcar en el estado de São Paulo (Marin & Carvalh, 2012).

En Guatemala, la región sur ha sido considerada muy estable en sus patrones de lluvia, siendo un buen lugar para la implementación de la agricultura, pero la dinámica y crecimiento de la actividad agrícola ha ido de la mano con la manifestación de variables locales del clima que cada vez son más evidentes. En los últimos años, se han generado períodos secos y períodos lluviosos, relacionados con las fases cálida y fría del sistema ENOS* (El Niño y la Niña), lo cual incrementa el riesgo de sequías o inundaciones. El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio

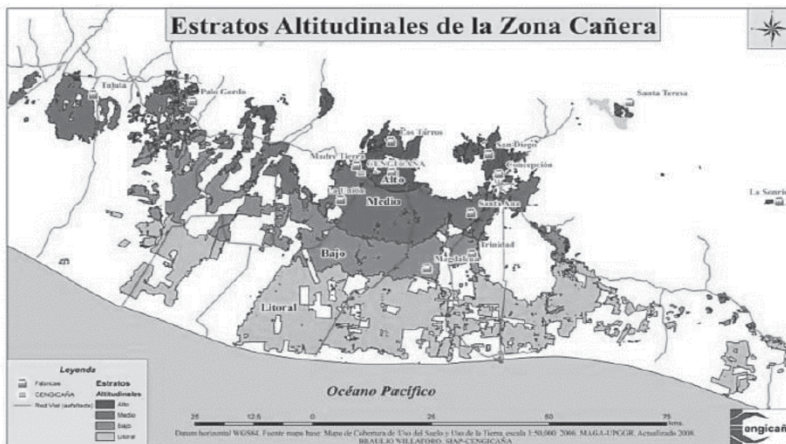
*El Niño-Oscilación del Sur.

Climático ha encontrado relación entre variables climáticas como el ENOS y los rendimientos de la caña de azúcar a nivel mensual (Instituto Privado de Cambio Climático, 2013) y así mismo estudios estimativos de producción basados en el fenómeno ENOS (Castro, Meneses, & Monterroso, 2013) y otros en donde mencionan que las caídas en el rendimiento de la caña de azúcar, se debe a fenómenos meteorológicos de gran magnitud, como el huracán Mitch en octubre de 1998, la tormenta Stan en octubre de 2005 y la tormenta Agatha en mayo de 2010, Melgar Morales, Meneses, Orozco, Pérez & Rodríguez (2014) La identificación del inicio y fin de la estación lluviosa es el primer paso en la comprensión de la variabilidad del clima y en este caso la lluvia en distintos estratos altitudinales, definidos por la agroindustria azucarera de Guatemala. Este tema es de vital importancia para el manejo agronómico de las actividades agrícolas en la región de estudio, así como para la planificación del comienzo y finalización de la zafra.

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

El área de estudio es la planicie costera del sur de Guatemala que incluye la zona cañera y en donde se ubican las estaciones meteorológicas del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, con una extensión de aproximadamente 10,930 km². A fin de obtener las distribuciones de precipitación presentes en el área de estudio, se evaluó el comportamiento de la estación lluviosa en los cuatro estratos del cultivo de la caña de azúcar. El estrato alto está localizado en la zona superior a los 300 m s.n.m.; el estrato medio entre 100 y 300 m s.n.m.; el estrato bajo entre 40 y 100 m s.n.m. y el estrato litoral se localiza entre 0 y 40 m s.n.m., Melgar Morales et al (2014). La ubicación de los cuatro estratos en la zona cañera se presenta en la Figura 1.



Fuente: Melgar Morales *et al* (2014).

Figura 1. Estratos altitudinales de la zona cañera en la República de Guatemala.

Datos utilizados

En el presente estudio se utilizaron los datos de precipitación diaria de 19 estaciones pluviométricas del ICC (Cuadro 1) para el período 2007-2017. Estas estaciones fueron seleccionadas en función de su caracterización de estrato y su registro continuo de datos. Con base en ellos, se construyeron las series de acumulados de precipitación cada cinco días. Las series fueron sometidas a un proceso de completado de datos en los casos faltantes, dado que la metodología a utilizarse en este trabajo no admite datos faltantes. Este procedimiento consistió en reemplazar los datos faltantes usando el método de promedios vecinales (Pizarro, y otros, 2009).

Cuadro 1. Fechas de inicio de estación lluviosa (IELL), años del 2007 al 2017.

Año	Alto	Medio	Bajo	Litoral	ENOS (1ra mitad del año)
2007	01-may	26-abr	11-may	11-may	Niño
2008	15-abr	15-abr	16-may	04-jun	Niña
2009	01-may	06-may	16-may	16-may	Neutro
2010	21-abr	06-may	26-may	26-may	Niño
2011	16-abr	16-abr	31-may	26-may	Niña
2012	15-abr	15-abr	15-abr	15-may	Niña
2013	26-abr	01-may	01-may	01-may	Neutro
2014	26-abr	26-abr	06-may	31-may	Neutro
2015	21-abr	21-abr	21-abr	10-jun	Niño
2016	25-abr	30-abr	20-may	20-may	Niño
2017	16-abr	26-abr	04-may	16-may	Niña

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018).

Cuadro 2. Fechas de término de estación lluviosa (TELL), años del 2007 al 2016.

Año	Alto	Medio	Bajo	Litoral	ENOS (2da mitad del año)
2007	28-oct	23-oct	23-oct	18-oct	Neutro
2008	22-oct	22-oct	22-oct	22-oct	Niña
2009	17-nov	12-nov	07-nov	08-nov	Neutro
2010	12-nov	07-nov	23-oct	03-oct	Niño
2011	23-oct	28-oct	23-oct	23-oct	Niña
2012	15-nov	06-nov	07-nov	01-nov	Neutro
2013	27-nov	22-nov	17-nov	12-nov	Neutro
2014	07-nov	11-nov	02-nov	02-nov	Neutro
2015	17-nov	12-nov	07-nov	02-nov	Niño
2016	21-nov	26-nov	11-nov	11-nov	Niño

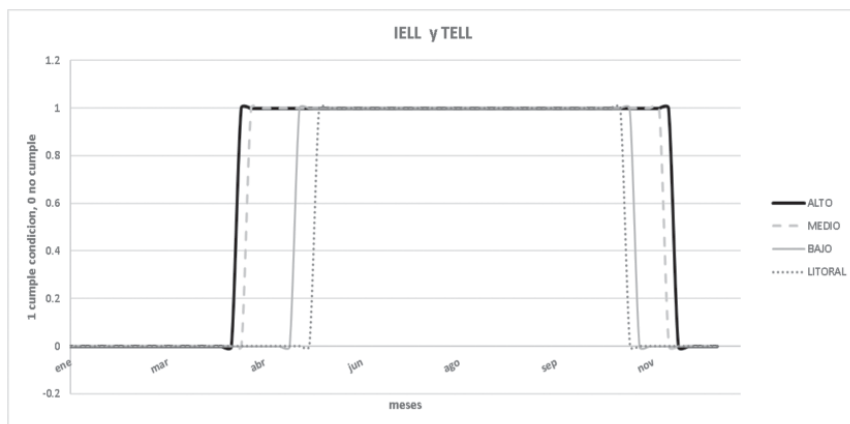
Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018).

Criterio para la identificación de la estación lluviosa

Para estimar la variabilidad del inicio y finalización de la estación lluviosa para cada estrato, se determinaron los valores máximos y mínimos y por aparte se calculó la media y el primer y tercer cuartil. Con los datos obtenidos, se generó la gráfica de caja de bigotes en la que se puede apreciar la variación de los inicios de la estación lluviosa para cada estrato.

Las fechas de inicio y fin de la estación lluviosa en cada región, se utilizaron dos criterios modificados basados en datos de precipitación. El primer criterio, es el que define un umbral para los valores de precipitación pluvial en penta-días (5 días). Es decir, el criterio considera que la estación lluviosa se ha iniciado si la péntada en estudio tiene un valor de 25 mm o más (5 mm/día) de lluvia, al menos una de las dos péntadas siguientes (en orden creciente) también tiene(n) un valor de 25 mm o más de lluvia y que las péntadas anteriores y posteriores a esta última, tengan más de 0.5 mm de lluvia acumulada (Alfaro, Cid & Enfiel, 1999). Para la identificación del término de la estación lluviosa se aplicó el mismo método, pero de manera regresiva (de atrás hacia adelante), ver Figura 2.

Figura 2. Inicio y término de estación lluviosa, método por Penta-días.



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018) y Alfaro, Cid, & Enfiel, 1999.

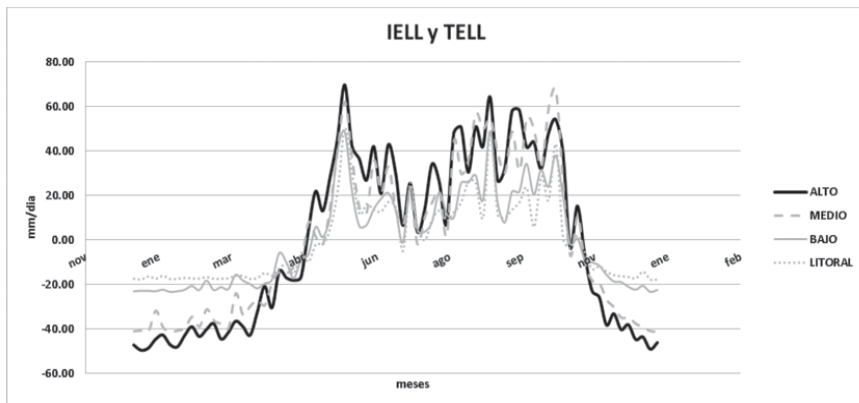
El detalle de las fechas encontradas se detalla en un rango de cinco días calendario. Los datos de precipitación fueron analizados a nivel de estratos, además se agregó el fenómeno ENOS imperante en la primera y segunda parte de cada año analizado. En tal sentido se evalúa la influencia del fenómeno en el IELL o el TELL.

Con base en el resultado de la generación de acumulados de lluvia cada 5 días, se utilizó un segundo criterio de acumulación de perturbaciones; que son las diferencias entre el valor promedio anual de precipitación pluvial y el valor de pp de cada péntada (Marengo, Liebmann, Kousky & Fili, 2001). Esto permitió representar de manera adecuada el comportamiento de la precipitación. La acumulación se define como:

$$A(p) = \sum_{i=1}^p R(i) - \bar{R} \times p,$$

Donde p es la péntada del año considerada, $R(i)$ es la precipitación para la péntada i y \bar{R} es la precipitación péntada media anual. Este criterio considera que en la estación lluviosa corresponde al período en el cual la precipitación excede su promedio climatológico anual, entonces una pendiente positiva indica el inicio de la estación lluviosa, ver Figura 3.

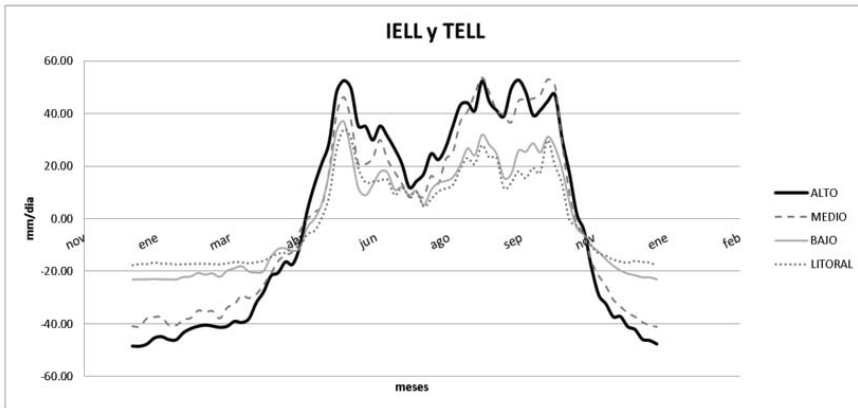
Figura 3. Inicio y término de estación lluviosa, método por Perturbaciones.



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018) y Marengo, Liebmann, Kousky & Fili, 2001.

Para afinar la identificación del criterio anterior se utilizaron promedios móviles de quince días como técnica de suavizado de las sumas acumuladas (para obtener gráficas que parezcan continuas). El valor mínimo de los promedios móviles de las sumas acumuladas de las perturbaciones, identifica la fecha de inicio de la temporada de lluvias, esta fecha se identifica en las gráficas de las diferencias de las sumas acumuladas. La fecha de inicio ocurre cuando la diferencia es igual a cero (el cruce de la curva de las diferencias acumuladas con el eje x), ver Figura 4.

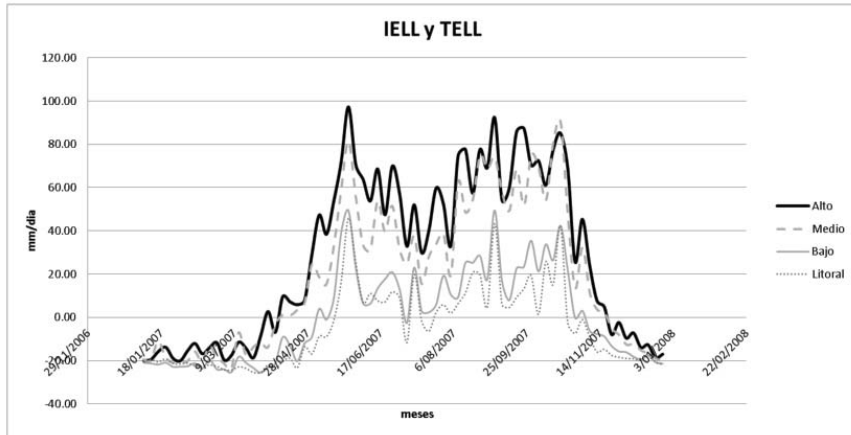
Figura 4. Inicio y termino de estación lluviosa, suavizado promedio de 15 días, método por perturbaciones.



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018) y Marengo, Liebmann, Kousky & Fili, 2001.

Como comparación, el inicio y terminación de la estación lluviosa es muy similar al balance entre la lluvia y la evapotranspiración potencial (ETP), para lo cual el IELL sería cuando la precipitación supera el valor de ETP. Mediante la aplicación de estos criterios, se logró identificar las fechas promedio de inicio y finalización de la temporada de lluvias para los distintos estratos de la región sur de Guatemala, ver Figura 5.

Figura 5. Inicio y término de estación lluviosa, método de balance (PP – ETP).



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018) y Hargreaves & Samani, 1985.

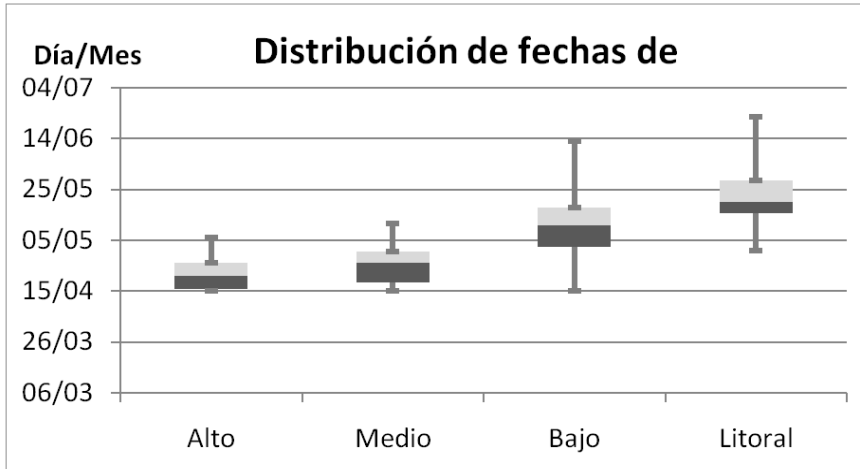
Relación con el fenómeno El Niño-La Niña (ENOS)

Aparte de la identificación de las fechas de inicio y terminación de la temporada de lluvias, este estudio compara los resultados con el fenómeno ENOS, generando así un análisis que trata de identificar los adelantos y retrasos del inicio o terminación de la temporada de lluvias bajo las condiciones de El Niño, La Niña y condición neutra de este fenómeno. Para la identificación de los años considerados como Niño, Niña y Neutro se visitó la página de la National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA en el siguiente link: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Así mismo se generaron gráficas en las cuales se puede observar la tendencia que tienen el inicio y terminación de la estación lluviosa para los distintos estratos, esto para tratar de identificar si hay algún cambio en los años estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los criterios antes presentados, en la Figura 6, se muestra la variación de los indicios de la estación lluviosa por estrato y en la Figura 7 se observa que el estrato bajo y litoral son los más irregulares, quiere decir que varía mucho el inicio de la estación lluviosa, al contrario, se puede observar que el estrato alto y medio son más regulares en su inicio de lluvias. En el caso de la terminación de la temporada de lluvias, se puede notar que hay más regularidad en las fechas en todos los estratos que generalmente oscilan entre finales de octubre y principios de noviembre.

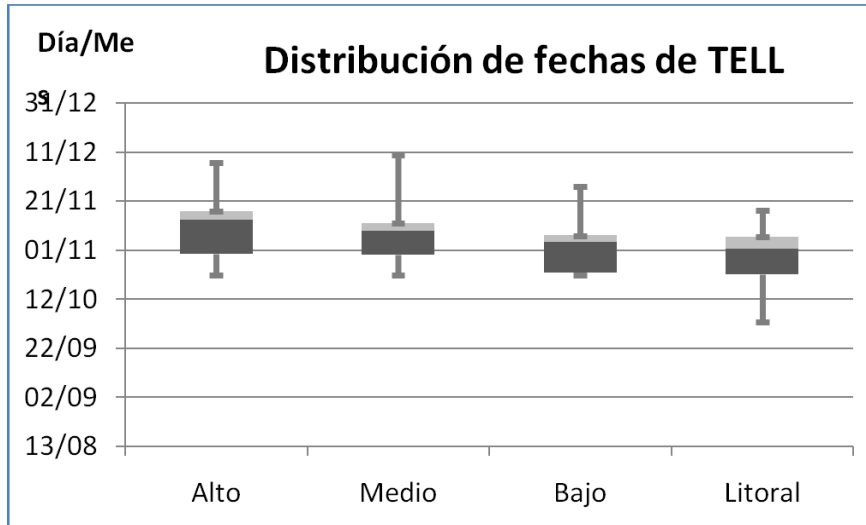
Figura 6. Gráfica de caja de bigotes para IELL de cada estrato.



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018)

También conocido como Boxplot, las cajas de bigote son un método estandarizado para representar gráficamente una serie de datos numéricos a través de sus cuartiles. Entre más grande la caja más variabilidad y entre más pequeña menos variabilidad en la distribución de las fechas de inicio y terminación de la época lluviosa.

Figura 7. Gráfica de caja de bigotes para TELL de cada estrato.

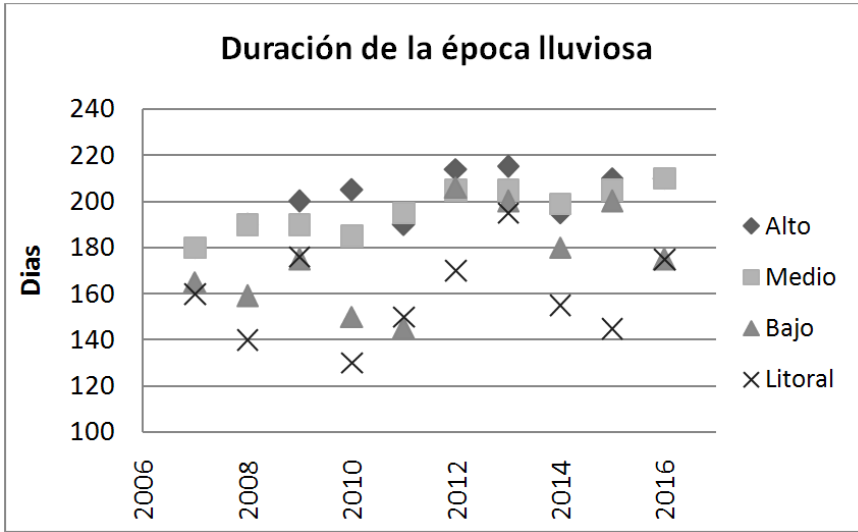


Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018).

Relación con el fenómeno El Niño-La Niña (ENOS)

Se ha establecido que cuando se está en una condición cálida en el fenómeno ENOS, para Centro América se espera que las lluvias sean deficitarias y en ocasiones provocar sequías. (Bonilla, 2014). Además, se sabe que este fenómeno puede influir en el clima generando diversos impactos a nivel mundial (OMM, 2014). En línea negra se muestra la tendencia. Para los inicios de la época lluviosa de los distintos estratos no se observa una tendencia marcada, aunque en el estrato bajo tiende adelantarse en los últimos años. Para las fechas de finalización de la estación de lluvias, se observó una tendencia al atraso, lo cual podría influir indirectamente en el número de días de duración de la temporada como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Series temporales de duración de la estación lluviosa para el período 2007-2016.



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018).

El método utilizado principal es el de péntadas por la generación de acumulados de lluvia de 5 días. Considerando los valores acumulados entre 50 o más mm para dos péntadas y que el tercero presenta lluvia de por lo menos 0.5 mm. El resultado en los Cuadros 3, 4 y 5 indica el inicio de la temporada de lluvias y terminaciones para los distintos estratos de la planicie del Pacífico de Guatemala, además se determinó la duración en días de los períodos lluviosos para cada estrato. Recordando que los penta-días varían de 1 a 73 en el año, en el Cuadro 5 se pueden ver los rangos de fechas de inicio y finalización de la época lluviosa en los distintos estratos latitudinales de la región sur, lo cual traducido a los penta-días se presenta en el resumen:

Cuadro 3. Fechas promedio de terminación de la estación lluviosa, años del 2007 al 2016.

Año	Alto	Medio	Bajo	Litoral	ENOS (2ª mitad del año)
2007	28-oct	23-oct	23-oct	18-oct	Neutro
2008	22-oct	22-oct	22-oct	22-oct	Niña
2009	17-nov	12-nov	07-nov	08-nov	Neutro
2010	12-nov	07-nov	23-oct	03-oct	Niño
2011	23-oct	28-oct	23-oct	23-oct	Niña
2012	15-nov	06-nov	07-nov	01-nov	Neutro
2013	27-nov	22-nov	17-nov	12-nov	Neutro
2014	07-nov	11-nov	02-nov	02-nov	Neutro
2015	17-nov	12-nov	07-nov	02-nov	Niño
2016	21-nov	26-nov	11-nov	11-nov	Niño

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018).

Cuadro 4. Fechas de IELL en episodios ENOS, años del 2007 al 2017.

ENOS	Estratos		IELL
	Alto	Medio	
El Niño	20-25 Abr	20-30 Abr	Normal
La Niña	15-20 Abr	15-20 Abr	Adelanto de 5 días
Neutro	25-30 Abr	25-30 Abr	Normal

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018).

Cuadro 5. Fechas de inicio y terminación de la estación lluviosa para cada estrato.

Estrato	IELL	TELL	DELL (días)
Alto	20 - 25 Abr	05 - 10 Nov	201
Medio	25 - 30 Abr	05 - 10 Nov	196
Bajo	05 - 10 May	01 - 05 Nov	176
Litoral	20 - 25 May	25 - 30 Oct	160

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2018).

Resumen:

- Estrato alto, Inicio en el penta-día 23 y Terminación en el penta-día 63
- Estrato Medio, Inicio en el penta-día 24 y Terminación en el penta-día 63
- Estrato Bajo, Inicio en el penta-día 26 y Terminación en el penta-día 62
- Estrato litoral, Inicio en el penta-día 29 y Terminación en el penta-día 60.

El criterio para identificar la finalización de la estación lluviosa fue el mismo pero analizado de atrás para adelante. Es decir, que la penta evaluada presenta lluvia de por lo menos 0.5 mm y las siguientes dos acumulados de 50 o más mm. Se estimaron los días promedio de la estación lluviosa, lo cual no está relacionado con la cantidad de lluvia, por lo que será necesario generar comparativos para la temporada de lluvias en otros estudios. De acuerdo con Molina (2015); las variaciones de evapotranspiración relacionados con la precipitación son bastante significativas ya que en el análisis realizado con datos de 160 estaciones meteorológicas; para variaciones de temperatura entre 0.1°C a 0.45°C, la fluctuación ET correspondiente va del 2 % en el escenario actual al 7 % en el escenario 2030, lo cual hace importante conocer el inicio y el final de la época lluviosa para el cultivo en mención.

En términos de Rivera (2015); los días promedios de la estación lluviosa pueden ser útiles para determinar el Índice de Satisfacción de las Necesidades Hídricas de

los Cultivos (ISNH) y en específico para la zona cañera. Asimismo, plantea que, si correlacionamos el comportamiento histórico de la lluvia con el comportamiento histórico del rendimiento de la caña de azúcar, entre otras variables, se puede estimar de manera predictiva la productividad del cultivo en mención. Finalmente, conocer el inicio y la finalización de la época lluviosa permite un mejor manejo agronómico de la caña, dependiendo si se da al inicio de la temporada de cosecha, rebrote o brotación de las yemas vegetativas, y de esta manera manejar con precisión las necesidades hídricas del cultivo (Bamber & Smith (2005).

Este análisis se planteó como objetivo encontrar la influencia de este fenómeno en el IELL de la región sur de Guatemala, pero es importante aclarar que para ello se necesitan más datos para lograr definirlo mejor. Pese a esa falta de datos, se comparan los inicios bajo las condiciones del fenómeno. En tal sentido se puede mencionar que solo los estratos Alto y Medio generaron señales de alguna influencia bajo este fenómeno, y solo para el caso de condiciones La Niña, se puede suponer que, bajo esta condición, el IELL se adelanta 5 días, es decir del penta-día 23 al penta-día 22 en el estrato alto y del penta-día 24 al 23 en el estrato medio. Bajo condiciones Niño y Neutro no se encontró señales de alguna influencia. En el caso del fenómeno de La Niña el posible adelanto detectado de la temporada de lluvias no influye en el número de días de la estación lluviosa, ya que, durante el año, el fenómeno ENOS suele tener cambios.

La terminación de la estación lluviosa en todos los estratos es muy uniforme y no se ven señales de la influencia del fenómeno. Esta terminación suele ser entre el 5 al 10 de noviembre para los estratos Alto y Medio. En cambio, para el estrato Bajo suele ser entre el 1 al 5 de noviembre y el estrato del litoral entre el 25 al 31 de octubre. El análisis de la variabilidad interanual de las series temporales de inicio y fin de la época lluviosa para el período 2007-2017 (Figuras 6 y 7) muestra que los estratos no poseen tendencias hacia un comienzo más temprano de las precipitaciones ni más tardío. Pero la terminación sí posee una tendencia hacia un término más tardío. Esto significa que la longitud de la época lluviosa se incrementó en el tiempo en los últimos años, como consecuencia de un atraso en la finalización de esta.

CONCLUSIONES

Este estudio identificó la evolución de la estación lluviosa en los distintos estratos a través de un criterio basado en umbrales de precipitación y el basado en perturbaciones de precipitación. Ambos métodos se relacionan con el balance entre PP y ETP, coincidiendo en los inicios de superávit de lluvia y déficit. En el estrato alto (300 a 700 m s.n.m.), el inicio de la época lluviosa (IELL) se presenta entre el 20-25 de abril (penta-día 23) y la terminación (TELL) entre el 5-10 de noviembre (penta-día 63), con una duración promedio de 201 días. De manera similar, el IELL en el estrato medio (100 a 300 m s.n.m.) se observa entre 25-30 abril (penta-día 24) y la TELL 5-10 noviembre (penta-día 63) con una duración de aproximada promedio de 196 días. En el caso del estrato bajo (40 a 100 m s.n.m.), el IELL se establece entre el 5-10 mayo (penta-día 26) y la TELL entre 1-5 noviembre (penta-día 62) con una duración aproximada promedio de 176 días. De manera parecida, en el estrato litoral (debajo de 40 m s.n.m.) el IELL se presenta del 20-25 mayo (penta-día 29) y la TELL del 25-30 octubre (penta-día 60) con una duración de 160 días promedio aproximado.

Se logró identificar gran variabilidad entre los años analizados (10), existiendo más variabilidad en el estrato bajo y litoral, según se muestra en los boxplots realizados, ver Figura 2 y 3. Mediante el análisis de las series temporales de las fechas de terminación de estación de lluvia para el período 2007-2017, se identificaron tendencias hacia un incremento en la longitud. Teniendo en cuenta este resultado, *a priori* podría inferirse una relación entre el aumento en los totales anuales de precipitación. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la relación entre los acumulados totales de precipitación y la extensión de la estación lluviosa no es directa y deben tenerse en cuenta otros factores tales como la variabilidad interanual e intra-estacional de la precipitación.

Existe la limitante de series largas de datos para comparar y definir de mejor forma la influencia que tiene el fenómeno ENOS, para los inicios y terminaciones de la estación lluviosa. Por lo tanto, los resultados mostrados aquí son indicativos y no proveen conclusiones robustas sobre dicha influencia. Los datos existentes no indican una influencia de El Niño sobre el inicio, ni la terminación de la época de

Paris Francisco Rivera Ramos
Wener Armando Ochoa Orozco
Bayron Geovany González Chavajay
Marvin Roberto Salguero Barahona

Inicio y Término de la Época Lluviosa
(IELL, TELL) en los estratos de la zona
cañera de Guatemala

lluvias. La Niña solamente mostró una influencia sobre el estrato alto y el medio, con un adelanto en el inicio de la época lluviosa de cinco días. A pesar de ello, la identificación de las fechas de inicio y terminación de la temporada de lluvias con el método modificado de los péntadas proporciona fechas muy similares al método modificado de perturbaciones de precipitación, lo que facilitó identificar con mayor precisión las fechas de inicio y terminación de la temporada de lluvias.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático ICC, por proporcionar los datos para la realización de este estudio y al Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales IIA de la Facultad de Agronomía por la publicación de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, E., Cid, L., & Enfiel, D. (1999). Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los océanos y Atlántico tropical. *Investigaciones Marinas*, 26, 59-69. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-71781998002600006
- Cardozo, N. P., & Sentelhas, P. C. (2013). Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. *Scientia Agricola*, 70(6), 49-456. <https://www.readcube.com/articles/10.1590%2Fs0103-90162013000600011>
- Greenland, D. (2005). Climate variability and sugarcane yield in Louisiana. *Journal Applied Meteorology*, 44 (11), 1655–1666. <https://journals.ametsoc.org/jamc/article/44/11/1655/16535/Climate-Variability-and-Sugarcane-Yield-in>
- Kang, Y., Khan, S., & Maa, X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science*, 19(12), 1665-1674. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007109002810>
- Marengo, J. A., Liebmann, B., Kousky, V. E., Filizola, N. P., & Wainer, I. C. (2001). Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *American Meteorological Society*, 14(5), 833-852. <https://journals.ametsoc.org/jcli/article/14/5/833/29112/Onset-and-End-of-the-Rainy-Season-in-the-Brazilian>
- Marin, F. R., & Carvalh, G. L. (2012). Spatio-temporal variability of sugarcane yield efficiency in the state of São Paulo, Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 47(2), 149-156. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2012000200001&script=sci_arttext
- Melgar Morales, M., Meneses, A., Orozco., H., Pérez, O., Espinosa, R. (2014). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala: Artemis Edinter. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/572719.pdf>
- Suárez, J. A., Quemé, J. L., Ramírez, C. (2013). Relación entre el índice El Niño 3.4 y los rendimientos de caña de azúcar en la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala (ICC). <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2016/03/Relacion-entre-el-indice-El-Ni%C3%B1o-3.4-y-los-rendimientos-de-la-ca%C3%B1a-de-azucar.pdf>
- Zhao, D., & Li, Y. R. (2015). Climate change and sugarcane production: Potential impact and mitigation strategies. *International Journal of Agronomy*, v. 2015, Article ID 547386, 10 p. <https://www.hindawi.com/journals/ija/2015/547386/>



RESÚMENES DE TESIS DE GRADO

Evaluación de cubiertas vegetales verticales como una alternativa para mejorar la calidad del aire en la ciudad de Guatemala, C. A.

Celeni Marleni Batres Alfaro

Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola

<http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03556.pdf>

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el Centro Comercial Peri-Roosevelt, en la ciudad de Guatemala, el objetivo fue evaluar las cubiertas vegetales verticales (portulaca de flor (*Portulaca grandiflora* Hook) y jade enano (*P. oleracea* L.)), como una alternativa para mejorar la calidad del aire en la ciudad capital. La metodología consistió en muestrear estas dos especies cada semana, por dos meses, evaluando las variables peso fresco, temperatura, biomasa, CO₂ absorbido y relación costo-beneficio de la cubierta vegetal vertical. Se utilizó un muestreo completamente al azar con cinco plantas de cada una de los dos especies y cuatro repeticiones. Los resultados indican que *P. oleracea* supera a *P. grandiflora* en todas las variables, 3.85141X10⁺²⁵ contra 3.92804X10⁺²³ en absorción de moléculas de CO₂; en liberación de oxígeno 3.85141X10⁺²³ contra 6.2848X10⁺²¹ kg de O₂; biomasa 919.2103 contra 15 g; en general ambas cubiertas rebajaron de 1 a 3 centígrados en las horas de mayor calor (14:00) y de 4 centígrados en horas de la mañana (9:00). En cuanto a costo/liberación oxígeno, se tiene 4.814X10⁺²² contra 7.856X10⁺²⁰ kg de oxígeno por metro cuadrado, ambas a un costo de Q.4,152.14. Se recomienda implementar jardines verticales en edificaciones que presentan efecto isla o con exposición directa al sol ya que éstos en periodos de temperatura máxima bajan de 1 a 4 °C y mantiene calor en periodos de temperaturas mínimas.

Palabras clave: *Portulaca oleracea*; *Portulaca grandiflora*; Cubiertas vegetales; Biomasa; Temperatura; Costo-beneficio.

ABSTRACT

The research was carried out at the Peri-Roosevelt Shopping Center, in Guatemala City, the objective was to evaluate vertical vegetation covers (flower portulaca (*Portulaca grandiflora* Hook) and dwarf jade (*P. oleracea* L.)), as an alternative to improve air quality in the capital city. The methodology consisted of sampling these two species every week for two months, evaluating the variables fresh weight, temperature, biomass, absorbed CO₂, and cost-benefit ratio of the vertical vegetation cover. A completely random sampling with five plants of each of the two species and four repetitions was used. The results indicate that *P. oleracea* exceeds *P. grandiflora* in all variables, 3.85141X10⁺²⁵ versus 3.92804X10⁺²³ in absorption of CO₂ molecules; in oxygen release 3.85141X10⁺²³ against 6.2848X10⁺²¹ kg of O₂; biomass 919.2103 against 15 g; in general, both covers dropped from 1 to 3 centigrade in the hottest hours (14:00) and 4 centigrade in the morning hours (9:00). As for cost / oxygen release, there is 4.814X10⁺²² against 7.856X10⁺²⁰ kg of oxygen per square meter, both at a cost of Q.4,152.14. It is recommended to implement vertical gardens in buildings that have an island effect or with direct exposure to the sun since these in periods of maximum temperature drop from 1 to 4 ° C and maintains heat in periods of minimum temperatures.

Key words: *Portulaca oleracea*; *Portulaca grandiflora*; Vegetable covers; Biomass; Temperature; Cost-benefit.

Modelación de la variabilidad espacial de la compactación del suelo usando técnicas geoestadísticas

Aroldo Emanuel Yoc Pérez

Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola

<http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03588.pdf>

RESUMEN

En los campos del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), Facultad de Agronomía, USAC, se modeló la variabilidad espacial de la compactación del suelo, utilizando técnicas geoestadísticas para obtener valores representativos y mapas que muestren su comportamiento. Se presenta detalladamente la metodología geoestadística, con el apoyo del entorno de programación R® y el entorno de desarrollo integrado R Studio®. Se muestreó la compactación del suelo con un penetrómetro a una profundidad de 0 m – 0.30 m en cuadrícula con equidistancias de 16 m, obteniendo 66 muestras en una superficie de 1.71 ha (script disponible en RPus (<https://rpubs.com/AroldoYoc502>)). Se georeferenciaron con un GARMIN® modelo 64s®, los datos se organizaron en una hoja de cálculo electrónica y sometidos a un análisis de consistencia y análisis exploratorio. En el análisis geoestadístico fueron evaluados 15 modelos, construidos los semivariogramas y luego seleccionado el mejor modelo por medio del criterio de información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés). Todos estos procedimientos fueron realizados en el entorno de programación R®, la interfaz de desarrollo integrado RStudio® y utilizando la biblioteca GeoR, donde el modelo cúbico presentó mejor ajuste, se generaron dos mapas de la distribución espacial de la compactación de suelos del área de estudio, siendo estos: a) mapa de probabilidad de ocurrencia de valores arriba del valor de la mediana y b) un mapa de la distribución espacial.

Palabras clave: Suelos; Compactación; Modelos de simulación; Mapas; Distribución espacial; Probabilidad de ocurrencia.

ABSTRACT

In the fields of the Experimental Teaching Center for Agronomy (CEDA), Faculty of Agronomy, USAC, the spatial variability of soil compaction was modeled, using geostatistical techniques to obtain representative values and maps that show its behavior. Geostatistical methodology is presented in detail, supported by the R® programming environment and the RStudio® integrated development environment. Soil compaction was sampled with a penetrometer at a depth of 0 m - 0.30 m on a grid with equidistance of 16 m, obtaining 66 samples on a surface of 1.71 ha (script available at RPus (<https://rpubs.com/AroldoYoc502>) The data was organized in an electronic spreadsheet and subjected to a consistency analysis and exploratory analysis, georeferenced with a GARMIN® model 64s®. In the geostatistical analysis, 15 models were evaluated, the semivariograms were constructed, and then the best one was selected. model using the Akaike Information Criterion (AIC) All these procedures were performed in the R® programming environment, the RStudio® integrated development interface and using the GeoR library, where the cubic model best presented adjustment, two maps of the spatial distribution of soil compaction of the study area were generated, these being: a) probability map of occurrence of arr values went from the median value and b) a map of the spatial distribution.

Key words: Soils; Compaction; Simulation models; Maps; Space distribution; Probability of occurrence.

Evaluación del efecto de cinco enmiendas sobre la disponibilidad del manganeso en un suelo con problemas de toxicidad proveniente del municipio de Potrero Carrillo, departamento de Jalapa, Guatemala, C. A. Realizada a nivel de invernadero y laboratorio

Gladys Marisela Arévalo López
Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola
<http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03579.pdf>

RESUMEN

En el invernadero del Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con suelo proveniente del municipio Potrero Carrillo, Jalapa, Guatemala, se determinó el efecto de cinco enmiendas (*molibdeno*, *materia orgánica*, *fósforo*, CaCO_3 , *materia orgánica-CaCO₃-fósforo*) sobre la disponibilidad del manganeso en el suelo y sobre la absorción del elemento en tejido vegetal de plantas tolerantes (*Solanum lycopersicum* L) y en tejido vegetal de plantas susceptibles (*Sorghum vulgare* L). Se seleccionó un cultivo tolerante a la absorción de manganeso (*Solanum lycopersicum* L) y un cultivo sensible (*Sorghum vulgare* L) al manganeso, en un diseño completamente al azar se evaluaron cinco tratamientos (Testigo, 0.5 mg/ha de molibdeno, 10 ton/ha lombricompost, 1,000 kg/ha P_2O_5 , 10 ton/ha CaCO_3 y 10 ton/ha CaCO_3 + 10 ton lombricompost + 1,000 kg fósforo) y tres repeticiones. La unidad experimental consistió en una maceta con 2.5 kg de suelo y 2 plantas de *S. lycopersicum* ó 10 plantas de *S. vulgare*. Se evaluó la concentración de manganeso usando Mehlich I en ppm. Los resultados reflejan que las mayores concentraciones se obtuvieron en la mezcla (80 ppm) y carbonato de calcio (85 ppm), pero fueron también los tratamientos que provocaron los mayores aumentos en el pH. La menor concentración de manganeso se observa en las enmiendas: carbonato de calcio (47 ppm) comparada con el testigo (87 ppm).

Palabras clave: Manganeso; *Solanum lycopersicum*; *Sorghum vulgare*; Cultivos tolerantes; Cultivos sensibles; Enmiendas al suelo; Dosis de aplicación; Molibdeno; Carbonato de Calcio; Fósforo; Lombricompost.

ABSTRACT

In the greenhouse of the Experimental Teaching Center of the Faculty of Agronomy (CEDA), of the University of San Carlos de Guatemala, with soil from the Potrero Carrillo municipality, Jalapa, Guatemala, the effect of five amendments (molybdenum, organic matter, phosphorus, CaCO_3 , organic matter- CaCO_3 -phosphorus) on the availability of manganese in the soil and on the absorption of the element in plant tissue of tolerant plants (*Solanum lycopersicum* L) and in plant tissue of susceptible plants (*Sorghum vulgare* L). A manganese absorption tolerant culture (*Solanum lycopersicum* L) and a manganese sensitive culture (*Sorghum vulgare* L) were selected, in a completely randomized design five treatments were evaluated (Control, 0.5 mg / ha molybdenum, 10 ton / ha vermicompost, 1,000 kg / ha P^{25}O_5 *Sorghum vulgare*, 10 ton / ha CaCO_3 and 10 ton / ha CaCO_3 + 10 ton vermicompost + 1,000 kg phosphorus) and three repetitions. The experimental unit consisted of a pot with 2.5 kg of soil and 2 *S. lycopersicum* plants or 10 *S. vulgare* plants. Manganese concentration was evaluated using Mehlich I in ppm. The results reflect that the highest concentrations were obtained in the mixture (80 ppm) and calcium carbonate (85 ppm), but it was also the treatments that caused the greatest increases in pH. The lowest concentration of manganese is observed in the amendments: calcium carbonate (47 ppm) compared to the control (87 ppm).

Key words: Manganese; *Solanum lycopersicum*; Tolerant crops; Sensitive crops; Soil amendments; Application rate; Molybdenum; Calcium carbonate; Match; Vermicompost.

Efecto de citoquininas, giberelinas y protector floral en el diámetro y longitud de botón floral de rosa (*Rosa* sp.), cultivada bajo invernadero, en San Juan Sacatepéquez, Guatemala, C. A.

Pedro Nolasco Xiquin Equite

Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola

<http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03581.pdf>

http://biblioteca.usac.edu.gt%20/tesis/01/01_3230.pdf

RESUMEN

En el municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala, se evaluó el efecto de cuatro concentraciones de citoquininas y giberelinas (200, 250, 350 y 450 mg/l combinadas) sobre la longitud, diámetro y tonalidad de los botones florales de rosa (*Rosa* sp.) variedad Freedom, solas o en combinación con protector floral (malla), la vida en florero de los tallos florales, la rentabilidad y tasa marginal de retorno. Se utilizó un diseño completo al azar bifactorial, con arreglo combinatorio, con 12 repeticiones, la unidad experimental fue un botón floral, la aplicación fue tópica al botón floral en el estado fenológico de arveja y el protector floral en estado de garbanzo. Se utilizó Info Stat y presupuestos parciales. La mayor longitud de botón floral (5.69 cm) se logró con 450 mg/l de ácido giberélico (AG3) más 450 mg/l de bencilamino purina (BAP), combinado con protector floral, la longitud fue de 6.20 cm. La menor longitud fue de 4.86 cm. El mayor diámetro fue de 4.50 cm con el mismo tratamiento, con el protector floral, 4.79 cm. El menor diámetro 4.23 cm lo mostró el testigo. La tonalidad de rojo óptimo lo ostró 350 mg/l y 450 mg/l de citoquininas y giberelinas mas protector floral. La vida en florero no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, 16 días. La mayor rentabilidad y mayor Tasa Marginal de Retorno fue observada con 350 mg/l de AG3 más 350 mg/l de BAP combinado con el uso protector floral, 76 % y 7.60 % respectivamente.

Palabras clave: Rosa; *Rosa* sp.; Giberelinas; Citoquininas; Bencilamino purina; Dosis de aplicación; Calidad de la producción; Bolsa de protección.

ABSTRACT

In the municipality of San Juan Sacatepéquez, Guatemala, the effect of four concentrations of cytokinins and gibberellins (200, 250, 350, and 450 mg / l combined) on the length, diameter, and hue of the rose buds (*Rosa sp.*) Freedom variety, alone or in combination with floral protector (mesh), the vase life of the flower stems, profitability and marginal rate of return. A complete two-factor randomized design was used, with a combinatorial arrangement, with 12 repetitions, the experimental unit was a flower bud, the application was topical to the flower bud in the phenological state of pea and the flower protector in the chickpea state. InfoStat and partial budgets were used. The longest flower bud length (5.69 cm) was achieved with 450 mg / l of gibberellic acid (AG3) plus 450 mg / l of benzylamino purine (BAP), combined with flower protector, the length was 6.20 cm. The shortest length was 4.86 cm. The largest diameter was 4.50 cm with the same treatment, with the floral protector, 4.79 cm. The smallest diameter 4.23 cm was shown by the control. The optimal shade of red showed 350 mg / l and 450 mg / l of cytokinins and gibberellins plus floral protector. Vase life did not present significant statistical differences between treatments, 16 days. The highest profitability and the highest Marginal Rate of Return was observed with 350 mg / l of AG3 plus 350 mg / l of BAP combined with the floral protective use, 76 % and 7.60 % respectively.

Key words: Rosa; *Rosa sp.*; Gibberellins; Cytokinins; Benzylamino purine; Application rate; Production quality; Protective bag.

Caracterización del manejo agronómico del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) y su relación con la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en los departamentos de Santa Rosa, Jalapa y Jutiapa, Guatemala, C. A.

Vanessa María Ariano Gaitán

Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola

<http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03510.pdf>

RESUMEN

En 24 municipios, que tenían más de 150 ha de café, entre 900 a 1,795 m s.n.m., en los departamentos de Santa Rosa, Jutiapa y Jalapa, Guatemala, se caracterizó el manejo agronómico del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) y determinó la relación con la roya del café. Se entrevistaron 55 caficultores, con boleta que abarcó manejo agronómico, plagas, enfermedades y aspectos socioeconómicos. Se concluye que el manejo agronómico es convencional, la propiedad es minifundista, no realizan análisis de suelo, compran plantas no injertadas, tienen deficiencias en uso de agrotóxicos, manejo de tejidos, fertilización y enmiendas. Variedades usadas susceptibles: Caturra, 21 %; Catuaí, 10 %; Pacas, 2 %; y Borbón, 2 %; resistentes: Catimor, 36 %; Sarchimor, 20 %; Híbrido, 5 % y Anacafé 14,4 %. La principal limitante es la roya de café, seguida de ojo de gallo, mal de viñas y antracnosis. Broca del café reporta 40 % de pérdida. Deficiente capacitación técnica, solo 50 % de los productores registra costos de producción, comercializan con cooperativas locales, 70 % nivel educativo bajo, Se determinaron 5 grupos: tres de estos, minifundistas (70 %), baja tecnología y altas pérdidas; dos grupos, latifundistas (30 %), mayor tecnología. Deben mejorar el manejo del cultivo, corregir deficiencias en aplicación de químicos y renovación de plantaciones con variedades resistentes, considerar el rendimiento y calidad de taza; propiciar manejo integrado para las enfermedades y plagas; brindar capacitación técnica, comercialización y preservación del agua en sus unidades productivas.

Palabras clave: Café; *Coffea arábica*; Roya del café; *Hemileia vastatrix*; Características de la producción; Tecnología; Nivel de vida.

ABSTRACT

In 24 municipalities, which had more than 150 ha of coffee, between 900 to 1,795 m s.n.m.l, in the departments of Santa Rosa, Jutiapa and Jalapa, Guatemala, the agronomic management of the coffee crop (*Coffea arabica* L.) was characterized and determined the relationship with coffee rust. 55 coffee growers were interviewed, with a report covering agronomic management, pests, diseases and socioeconomic aspects. It is concluded that the agronomic management is conventional, the property is smallholder, they do not carry out soil analysis, they buy non-grafted plants, they have deficiencies in the use of pesticides, tissue management, fertilization and amendments. Susceptible varieties used: Caturra, 21 %; Catuaí, 10 %; Bales, 2 %; and Bourbon, 2 %; resistant: Catimor, 36 %; Sarchimor, 20 %; Hybrid, 5 % and Anacafé 14.4 %. The main limitation is coffee rust, followed by rooster's eye, vine disease and anthracnose. Coffee drill reports 40 % loss. Poor technical training, only 50 % of producers register production costs, they trade with local cooperatives, 70 % low educational level. 5 groups were determined: three of these, smallholders (70 %), low technology and high losses; two groups, large landowners (30 %), greater technology. They must improve crop management, correct deficiencies in chemical application and renewal of plantations with resistant varieties, consider yield and cup quality; promote integrated management of diseases and pests; provide technical training, marketing and water preservation in its production units.

Key words: Coffee; *Coffea arabica*; Coffee rust; *Hemileia vastatrix*; Production characteristics; Technology; Standard of living.



RESÚMENES DE TESIS DE POSTGRADO

Estudio sobre la producción de aves criollas como opción de desarrollo económico rural para las familias campesinas del caserío Chitas, Chicamán, Quiché, Guatemala, C. A.

Nestor Fernando Velásquez Cifuentes

RESUMEN

Las aves criollas son una de las especies pecuaria preferida en las localidades rurales del país debido a que es una actividad desempeñada por la mujer, niños y los ancianos de las familias campesinas rurales ya que esta actividad no requiere de la ocupación de mucho tiempo para su respectivo manejo, el objetivo general de este estudio, fue poder aportar conocimientos, en el comportamiento de la interacción del componente pecuario avícola criollo con las familias campesinas rurales del caserío Chitas y la alternativa económica que las aves criollas o de traspatio pueden generar a las familias en cuanto a su manejo y alternativas de incorporación de tecnología para las unidades de producción avícola o bien comúnmente llamados gallineros, el estudio pecuario consta de un total de 5 familias campesinas, contemplando que el 80 % de la población estudiada cuenta con más de un ave criolla por familia campesina rural, datos que fueron recabados en base al diagnóstico rural participativo, así también se realizó en conjunto con las familias campesinas el estudio de campo que llevo a la incorporación de tecnología en el manejo de las aves criollas en toda sus etapas o ciclo productivo, por otra parte se presenta en este estudio el análisis de rentabilidad para esta actividad, trabajando de manera directa con datos y recursos existentes por las familias campesinas, así también realizando un análisis de rentabilidad proyectado en base a datos del anterior análisis, por parte de la sanidad avícola se puso en marcha el manejo profiláctico y análisis serológico para entender su importancia para esta actividad, por último y no menos importante se trabajó con las familias campesinas temas de organización campesinas, para poder darle alternativas de desarrollo para el caserío de Chitas.

Palabras clave: Producción, Aves Criollas, Traspatio, Diagnóstico, Rentabilidad, Inmunización.

ABSTRACT

Creole birds are a species of the preferred species in the rural localities of country, which is an activity that is carried out by women, children and the elderly of families, but this activity does not require a long period of time to respect the management, the general objective of this study, to be able to contribute to knowledge, the interaction behavior of the creole poultry component with the rural peasant families of the Chitas household and the economic alternative that creole or transport birds can generate for families in terms of management and alternatives for incorporation into technology for poultry or popular production units called chicken houses, the peculiar study consists of a total of 5 peasant families, contemplating that 80 % of the studied population has more than one creole bird by rural peasant family, data that was collected based on the participatory rural diagnosis, was also In conjunction with the peasant families, they carried out the field study that included the incorporation of technology in the management of creole birds in all the stages or production cycle. on the other hand, the profitability analysis for this activity was presented in this study, direct way with data and existing resources by the peasant families, also making an analysis of projected profitability based on data from the previous analysis, on the part of the public health, the prophylactic management and serological analysis was started to understand its importance for this activity, last but not least, worked with the peasant families, issues of peasant organization, for the later development of the Chitas hamlet.

Key words: Production, Creole Birds, Backyard, Diagnosis, Profitability, Immunization.

Propuesta de plan de gestión de las aguas residuales en el área urbana de los municipios de San Benito y Flores Petén, Guatemala

Gerson Renato Gabriel Ochaeta Constanza, Marvin Roberto Salguero Barahona, Cele Anaitté Méndez García.

RESUMEN

Se presenta un plan para la gestión de las aguas residuales en la zona urbana de los Municipios de San Benito y Flores en el Departamento de Petén. Los principales actores involucrados en la gestión de aguas residuales son: EMAPET, AMPI, las municipalidades de San Benito y Flores y la sociedad civil. El sistema que actualmente funciona en la zona es un sistema de tratamiento de 12 lagunas de oxidación, el cual tiene una capacidad de tratamiento para 7,500 m³ por día. Para el año 2028 se estima que en el área se requiera una demanda de 13,278 m³ por día. La implementación del plan para la gestión de las aguas residuales en el área de estudio es de Q134,162,000.00, inversión que debe realizarse en el transcurso de 10 años. Adicionalmente para la reducción de la contaminación al Lago Petén Itzá, se debe implementar un sistema de humedales artificiales que permitan la remoción de nutrientes al efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales que funciona actualmente. El plan para la gestión de aguas residuales de la zona de estudio debe ser implementado por las instituciones que forman parte en la mesa de infraestructura del programa “Todos juntos por el Lago Petén Itzá”, liderados por AMPI, EMAPET y las municipalidades de San Benito y Flores Petén.

Palabras clave: Plan de aguas residuales, EMAPET, contaminación, lagunas de oxidación, municipalidades.

ABSTRACT

A plan for the management of wastewater in the urban area of the municipalities of San Benito and Flores in the department of Petén is presented. The main stakeholders involved in wastewater management are: EMAPET, AMPI, the municipalities of San Benito and Flores and the civil society. The system that currently operates in the area is a 2 oxidation lagoons system, which has a treatment capacity of 7,500 m³ per day is required in the area. The implementation of the wastewater management plan in the study area will be Q134,162,000.00, the investment that must be made over the course of 10 years. Additionally, for the reduction of contamination to Petén Itzá lake, a system of artificial wetlands must be implemented that allow the removal of nutrients to the effluent of the wastewater treatment plan that is currently operating. The wastewater management plan of the study area should be implemented by the institutions that are part of the support group named "Mesa de infraestructura" part of the program "Todos juntos por el Lago" led by AMPI, EMAPET and the municipalities of San Benito and Flores Petén.

Key Words: wastewater plan, EMAPET, contaminations, oxidation lagoons, municipalities.



INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La **Revista Tikalía** es una publicación científica editada por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC). Se publica semestralmente.

En la revista se publican trabajos originales de contribución técnico-científica (artículos) en el campo de las ciencias sociales, biológicas, agrícolas y forestales; en las áreas de: desarrollo rural, conservación de la biodiversidad y medio ambiente, manejo y mejoramiento de plantas, protección de plantas, ingeniería agrícola, manejo de suelo y agua, administración y comercialización agrícola, silvicultura, tecnología y utilización de productos forestales. Así mismo se publican trabajos de revisión bibliográfica, únicamente a invitación del Consejo Editorial

Exclusivamente se presentan trabajos escritos en idioma Español para su publicación, los mismos serán evaluados en su contenido científico-tecnológico por el Consejo Editorial de la Facultad de Agronomía, quien deberá invitar "referees" anónimos (Revisores y Calificadores Pares, plenamente identificados y fuera de la Facultad de Agronomía), dependiendo de la naturaleza del artículo presentado. Los trabajos pueden aprobarse sin correcciones, sujetos a correcciones, o no ser aceptados para su publicación.

POLÍTICA EDITORIAL

Mantener conducta ética en relación a la publicación y a sus colaboradores, rigor con la calidad de los artículos científicos y revisiones bibliográficas, integrar el Consejo Editorial con profesionales de calidad científica y ética con carácter imparcial en el proceso de análisis de los trabajos.

PÚBLICO OBJETIVO

Comunidad nacional e internacional vinculada con las ciencias agrícolas y forestales o campos afines. Estudiantes de licenciatura, postgrado y Profesores de las ciencias agrícolas, ambientales, agroindustriales y forestales.

FORMA Y PREPARACIÓN DE LOS TRABAJOS

Los trabajos deben presentar las siguientes características: espacio 1,5; papel tamaño carta (21.59 x 27.94mm), con márgenes superior, inferior, izquierda y derecha de 2,5cm; fuente Arial 12; y contener un máximo de 10 páginas, incluyendo cuadros y figuras.

En la primera página deberá contener el título del trabajo, el resumen y las palabras clave. En los trabajos en Español, los títulos de cuadros y figuras deberán ser escritos también en inglés; y para los artículos en Inglés en Español.

Los cuadros y figuras deberán ser numerados con números arábigos consecutivos y aparecer referidos en el texto.

Los títulos deben identificarse con números arábigos y escribirse con letras mayúsculas (en negrita); los subtítulos, sí necesarios, deben identificarse con dos números arábigos (ejemplo: 1.1) y escribirse con letra inicial mayúscula (en negrita).

Los títulos de las figuras deberán aparecer en la parte inferior anteceditos de la palabra “Figura” seguida de su número de orden (en negrita). Los títulos de los cuadros deberán aparecer en la parte superior y ser anteceditos de la palabra “Cuadro” seguida de su número de orden (en negrita).

En la figura, la fuente (sí es pertinente) debe de escribirse por arriba del título, sin punto final; en el Cuadro, en la parte inferior y con punto final. Las figuras deberán estar exclusivamente en escala de grises elaboradas en Microsoft Excel. A las fotografías se aplican los mismos criterios que para las figuras, deben estar en formato JPG.

Los trabajos deben presentarse de acuerdo con el siguiente esquema: TÍTULO en Español, RESUMEN (seguido de palabras clave), TÍTULO DEL ARTÍCULO en Inglés, ABSTRACT (seguido de key words); 1. INTRODUCCIÓN (incluyendo revisión de literatura); 2. MATERIAL Y MÉTODOS; 3. RESULTADOS Y

DISCUSIÓN; 4. CONCLUSIONES; 5. AGRADECIMIENTOS (si pertinente); y 6. LITERATURA CITADA, alineadas a la izquierda.

ENVÍO DE TRABAJOS (ARTÍCULOS Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA)

Para enviar un trabajo para publicación el o los autores pueden hacerlos llegar al Consejo Editorial, por vía electrónica a: tikalia@fausac.gt. El Consejo Editorial le notificará sobre la recepción de su trabajo.

Recomendaciones de edición:

Presentación

Los trabajos deben iniciarse con el título, luego abajo colocar los apellidos y nombres del o los autor(es). En esa misma hoja, como pie de página, los títulos y el cargo y lugar de trabajo del o los autor(es).

Título: Conciso e indicar el contenido del trabajo.

Resumen: Presenta una frase introductoria que justifica el trabajo, describe lo que fue estudiado, presenta los principales resultados y conclusiones. Es seguido de las palabras clave.

Abstract: Consiste en la traducción del resumen al idioma Inglés. Es seguido de key words.

Introducción: Breve, esclareciendo la problemática estudiada, plantea hipótesis con base en revisión bibliográfica y finaliza con la indicación del objetivo del trabajo.

Material y métodos: reúne la información necesaria para la reproducción del trabajo por otros investigadores, los diferentes métodos deben referenciarse con base en la bibliografía.

Resultados: Presentación concisa de resultados, incluye cuadros, figuras y fotos.

Discusión: Análisis y discusión de los resultados obtenidos con base en la información bibliográfica.

Conclusión: Con base en la información discutida.

Agradecimiento(s): Sucinto(s), no deben aparecer en el texto. Opcional (es).

Literatura citada: incluye solo las referencias citadas en el texto. Ejemplos:

Periódicos científicos: Nombre de todos los autores, Título del artículo. Título abreviado del periódico, volumen: páginas inicial y final, año de publicación.
Ejemplo:

KERN, J.S. & JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmosphere carbon levels. Soil Sci. Soc. Am. J., 57: 200-210, 1993.

Libro: Autores. Título de la publicación. Número de edición. Local, Editora, año de publicación. Número de páginas. Ejemplo: FISHER, R.F. & BINKLEY, D. 3.ed. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2000.489p.

Participación en obra colectiva: Autores. Título de la parte referenciada seguidamente In: Nombre del editor. Título de la publicación, número de edición. Ciudad de Publicación, Editorial, año. Páginas inicial y final. Ejemplo:

Capítulo de libro:

ECK, H.V. & STEWART, B.A. Manures. In: RECHCIGL, J.E., ed. Soil amendments and environmental quality. 2.ed. Florida, CRC press, 1995. p.169-198.

Publicación en Memorias:

VETTORI, L. Ferro & quot; livre & quot; por cálculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DECIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. Anais. Campinas, Sociedade Brasileirade Ciência do Solo, 1976. p.127-128.

CD-ROM

LIMA, P.C.; MOURA, W.M.; LIMA, W.A.; HIZUMI, S.; MATOS, E.S.; PENNA, B.A., PERTEL, J. Avaliação de leguminosas utilizadas na adubação verde de cafezaisorgânicos na zona da Mata de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOSCAFÉS DO BRASIL. 4., 2005. Memórias. Londrina, PR., EMBRAPA, 2005. CD-ROM

Internet:

Cambio climático y calentamiento global en: <http://www.cambioclimaticoglobal.com.>> Consultada el 13 julio 2007.

La literatura citada en el texto se presenta como: Fisher & Binkley (2000) o (Fisher& Binkley, 2000). Cuando se trata de más de dos autores usar la forma reducida (Hedley et al., 1982). Cuando se trate de más de dos obras del mismo autor en el mismo año, identificar con letras minúsculas. Ejemplo: Martens, 2002a,b.

Revista **tikala** se terminó de imprimir en el mes de agosto de 2020, en los talleres de Editora Arizandieta, con una tirada de 500 ejemplares en papel bond beige de 80 gramos.

