

Volumen 41 número 1
Enero-Junio 2022



tiikalia

ISSN 2221-5964

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



El cálculo de diversidad biológica. Parte I: Diversidad biológica alfa

José Vicente Martínez Arévalo



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



Volumen. 41, Número. 1



Guatemala, enero - junio 2022



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

Junta Directiva de la FAUSAC 2022

Decano

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes

Secretario Académico

Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López

Vocal I

Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona

Vocal II

Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez

Vocal III

Ing. Agr. Jorge Mario Cabrera Madrid

Vocal IV

Bach. Sahara Yarith Méndez Anckermann

Vocal V

P.Admon. Yonshual Xinico Ajú

Consejo Editorial

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes (Presidente)

Licda. Michelle Sanabria (Secretaría)

Dr. Hugo Cardona Castillo.

Ing. Agr. Carlos López Búcaro.

Ing. Agr. José Humberto Calderón Díaz.

Br. Marco Yordano Hernández.

Revista  **tikal**

Facultad de Agronomía

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

Salón 3-02, Ciudad Universitaria, zona 12

Guatemala, Guatemala 01012, Apartado Postal 1545

Teléfono +(502) 5476 7223

Correo electrónico: consejoeditorial@fausac.gt

Editora:

Michelle Sanabria Oliva

PRESENTACIÓN

Revista Tikalia Volumen 41, Número 1-2022, (enero-junio) publicación científica semestral de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, contiene los artículos siguientes:

El control de plagas a través de campos magnéticos; Nestor Gonzalo Rodríguez Colindres y Gesly Anibal Bonilla Landaverry. La agricultura es uno de los pilares de la economía de nuestro país, el café, azúcar, banano, cultivos tradicionales y no tradicionales aportan un gran porcentaje de exportaciones. Por lo cual, en la producción agrícola es necesario crear tecnología que contrarreste los factores que provocan déficits económicos en los productores, como el ataque de insectos y enfermedades a los cultivos.

Incentivo a sistemas agroforestales en fincas pequeñas del corredor seco del oriente de Guatemala: potencial y limitantes; Boris Augusto Méndez Paiz y Carmen Eugenia Marroquín Chávez, Este artículo analiza la composición y estructura de nuestro país, describiendo el perfil socioeconómico de los beneficiarios y los alcances del incentivo en el maíz, sorgo y frijol. Realizado en el Corredor Seco del nororiente del país con el propósito de identificar Sistemas Agroforestales -SAF- utilizados con mayor frecuencia por el Programa Nacional de Incentivos Forestales para Pequeños Productores Agropecuarios, en el municipio de Huité.

Determinación y caracterización del agente causal de la enfermedad “pata negra” en ajonjolí (*Sesamum indicum L.*), Guatemala, C.A.; Nelly Cristina González Batres. En la región de la costa sur, donde se da producción más alta del ajonjolí, se encuentra la principal enfermedad del cultivo que es conocida como “pata negra”.

El cálculo de diversidad biológica. Parte I: Diversidad biológica alfa; José Vicente Martínez Arévalo. El cálculo de la diversidad biológica es atractivo en biología y ecología pues a partir de cifras que proporcionan los índices, en este artículo se da una interpretación de características de una comunidad biótica.

Los editores

CONTENIDO

- 1** **[El control de plagas a través de campos magnéticos](#)**
Nestor Gonzalo Rodríguez Colindres
Gesly Anibal Bonilla Landaverry
-
- 11** **[Incentivo a sistemas agroforestales en fincas pequeñas del corredor seco del oriente de Guatemala: potencial y limitantes](#)**
Boris Augusto Méndez Paiz
Carmen Eugenia Marroquín Chávez.
-
- 33** **[Determinación y caracterización del agente causal de la enfermedad “pata negra” en ajonjolí \(*Sesamum indicum L.*\), Guatemala, C.A](#)**
Nelly Cristina González Batres
-
- 48** **[El cálculo de diversidad biológica. Parte I: Diversidad biológica alfa](#)**
José Vicente Martínez Arévalo
-
- 63** **[Resumen de Tesis de Grado](#)**
-
- 84** **[Instrucciones para autores y guía de evaluación para aceptación de artículo](#)**



El control de plagas a través de campos magnéticos

Nestor Gonzalo Rodríguez Colindres ¹
Gesly Anibal Bonilla Landaverry ²

Recibido el 03 de marzo de 2022.

Aprobado el 05 de septiembre de 2022.

¹ Ingeniero Agrónomo, Maestro en Ciencias en Energía Renovable, Doctor en Administración Pública y Políticas Públicas. Asesor de SEGEPLAN. nestor1170@hotmail.com

² Ingeniero Agrónomo, Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental, Doctor en Ciencias Políticas y Sociología. Profesor Titular VII CUNSORORI. gesly77@hotmail.com

RESUMEN

La agricultura es uno de los pilares de la economía de nuestro país, aporta el 10% del PIB, proporciona gran porcentaje de exportaciones, principalmente de café, azúcar, banano, cultivos tradicionales y no tradicionales. La producción agrícola se convierte en un tema fundamental, es por eso que es necesario crear tecnología que contrarreste los factores que provocan déficits económicos en los productores, como el ataque de insectos y enfermedades a los cultivos. Se establece que el control de plagas de insectos a través de campos magnéticos sería punto clave para contribuir a proteger el medio ambiente y generar tecnología para evitar el uso de productos químicos. Se ha elaborado el presente artículo con la finalidad de argumentar la base teórica sobre los efectos de los campos electromagnéticos que servirá para futuras investigaciones experimentales que permitan obtener resultados favorables para la disminución de plagas que afectan el umbral económico sobre los cultivos agrícolas.

Palabras Clave

Insectos, campos electromagnéticos, agricultura, plagas

ABSTRACT

Agriculture is one of the pillars of the economy of our country, contributes 10% of GDP, provides a large percentage of exports, mainly coffee, sugar, bananas, traditional and non-traditional crops. Agricultural production becomes a fundamental issue, which is why it is necessary to create technology that counteracts the factors that cause economic deficits in producers, such as the attack of insects and diseases on crops. It is established that the control of insect pests through magnetic fields would be the key point to help protect the environment and generate technology to avoid the use of chemical products. This article has been prepared with the purpose of arguing the theoretical basis on the effects of electromagnetic fields that will serve for future field research that will allow obtaining favorable results for the reduction of pests that affect the economic threshold on agricultural crops.

Keywords

Insects, electromagnetic fields, agriculture, pests

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, el uso de agroquímicos para el control de plagas en los cultivos es una práctica que se ha mantenido por décadas. Esto ha generado una gran industria en torno de la producción e innovación de nuevos productos, nuevas moléculas que permitan el control de plagas y enfermedades, lo que, a su vez, genera también mayor resistencia en los insectos, mayor efecto residual de los plaguicidas; y, las consecuencias ambientales que esto representa. La problemática radica principalmente en el grado de alteración ambiental generado por la agricultura convencional.

La agricultura convencional está caracterizada por una alta dependencia del uso de agroquímicos, tanto para la nutrición, como para el control de malezas, plagas y enfermedades en las plantas. De lo anterior, se sabe que es el control de plagas, uno de los temas más costosos en términos económicos; siendo también, el origen de la mayor cantidad de restricciones para la exportación y consumo de productos agrícolas a nivel nacional e internacional.

El uso de plaguicidas implica también un alto impacto ambiental, perjudicando la salud humana, la extinción de especies de insectos polinizadores, tal como la abeja y otros; afectando seriamente la biodiversidad y el ambiente en general en un corto, mediano y largo plazo; alterando incluso, no solo el suelo, sino también el agua, la calidad del aire y la biodiversidad. También se afecta la calidad de vida de las poblaciones humanas; sin descartar el incremento de los costos de producción que implica el uso de agroquímicos.

Por lo anterior es necesario realizar investigaciones innovadoras como la utilización de energía eléctrica generando campos magnéticos bloqueando la locomoción de los insectos, provocando la muerte por inanición o por depredación por insectos enemigos biológicos y así controlar las plagas sin el uso de productos químicos. El presente artículo pretende explicar a través de revisión de literatura y argumentación teórica cómo los insectos pueden ser afectados por campos electromagnéticos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente artículo es de tipo exploratorio y argumentativo con base en revisión de literatura que pretende explicar la forma en que los campos electromagnéticos afectan a los insectos, como alternativa para el control de plagas en la agricultura.

Se revisaron publicaciones relacionadas con los campos electromagnéticos y organismos vivos. Se consultó a profesionales relacionados a la entomología y las ingenierías eléctricas, electrónicas, y radiólogos, para conocer su opinión sobre la posibilidad de relacionar el efecto de los campos electromagnéticos en los insectos para el control de plagas.

Finalmente, se realizó un análisis del impacto social, económico y ambiental que puede producir el control de plagas a través del empleo de campos electromagnéticos.

Efecto de los campos electromagnéticos sobre los insectos

La naturaleza en su organización ha establecido parámetros, características apegadas al orden del fenotipo y genotipo de sus elementos. La dinámica de todo ser vivo es sobrevivir a los factores de su entorno, para ello integra todos los elementos necesarios que estén a su alcance; por ejemplo, la tortuga utiliza el hierro que es parte de la arena en las costas marítimas, esto para orientarse, es claro que en su constitución física la tortuga posee un sistema orgánico avanzado, el cual le sirve para su orientación y ubicación geoespacial, utilizando el ángulo y la intensidad del campo magnético de la tierra, determinando su longitud y latitud (Luquin, 2013).

Al utilizar campos electromagnéticos generados por energía solar se puede producir el efecto geomagnético que utilizan algunos organismos vivos para orientarse, y a la vez utilizarlo para desorientarlos. A los insectos, con la utilización de campos magnéticos se les puede alterar la locomoción debido a que estos están dotados de magnetita, una sustancia de origen metálico que se alberga en el exoesqueleto del insecto naturalmente, y cada tipo de insecto la contiene en concentraciones diferentes, y lugares diferentes. Esta magnetita desempeña el papel de sensor magnético involucrado en el fenómeno de magnetorrecepción (Balmori Martínez, 2006; Gould, 1980; Schiff, 1993).

Existe la magnetorrecepción en abejas (*Apis mellifera*) y en diferentes especies de hormigas (Acosta-Avalos, Wajnberg, Oliveira, Leal, Farina, & Esquivel, 1999), y también hay estudios sobre las propiedades magnéticas de los nanomagnetos

biomineralizados por estos insectos, utilizando Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE), Magnetometría SQUID y Microscopía Electrónica (Anderson & Vander Meer, 1993). Nos queda claro que los insectos investigados poseen magnetita como magneto sensor, esto se convierte en el punto clave de nuestra investigación para el control de plagas agrícolas.

Actualmente, el uso de plaguicidas químicos en la agricultura tiene serias implicaciones en la calidad de los productos; principalmente en los requerimientos para consumo humano y para exportación. Esto representa un alto costo ambiental y sanitario a largo plazo, lo que ya ha generado alertas principalmente en el ámbito comercial, productivo, salud, alimentación y en cuanto a legislación internacional; siendo el principal afectado, el ser humano (Luquin, 2013). Por lo anterior, se hace cada vez más necesario buscar alternativas para que la producción agrícola sea más amigable con el medio ambiente, la salud de los consumidores y la conservación de los servicios ecosistémicos.

En Guatemala, una parte importante de la economía depende directamente de la producción agrícola que está basada principalmente en el uso de agroquímicos para su manejo agronómico, afectando día con día, seriamente, el medio ambiente y la salud humana. Es necesario contar con tecnologías nuevas para reducir los impactos generados a la hora de tratar las plagas de los cultivos.

La propuesta del uso de energía eléctrica fotovoltaica para la creación de campos electromagnéticos que generen un aislamiento directo entre el ataque del insecto y el cultivo agrícola se hace pertinente, pues a partir de estudios comparativos se ha determinado que los insectos pueden ser controlados al inhibir el funcionamiento del sistema locomotor orientado por sus antenas, a través de la creación de campos electromagnéticos (Schiff, 1993; Vácha, 1997). Reducir la utilización de productos químicos en el control de plagas en los cultivos a nivel de los pequeños, medianos y grandes productores se hace necesario en el mundo moderno para ser más amigables con el ambiente.

Una nueva forma de producción agrícola permitirá una producción sin contaminación o alteración de los cultivos agrícolas, y en la cual se fomentará un enfoque de manejo integrado de plagas (MIP) con base en campos electromagnéticos por radiación solar.

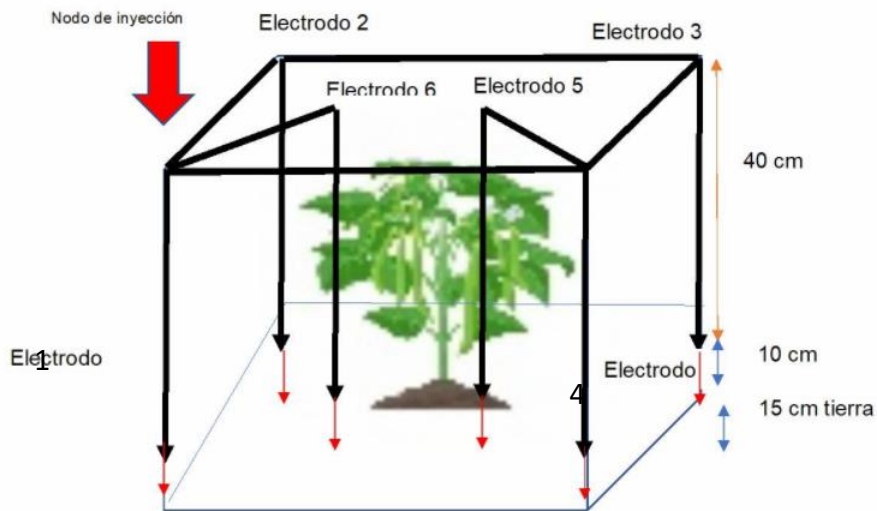
El objetivo es cambiar los paradigmas en cuanto a la producción agrícola a nivel global, a través de la efectividad de los campos electromagnéticos por radiación solar de frecuencia variable para el control por ejemplo de la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gen.) que causa pérdidas económicas en la producción agrícola.

Creación de un campo electromagnético y control de plagas de insectos.

La distribución de corrientes se produce con electrodos conectados a un sistema de voltaje variable. Esto logrará la formación de un campo electromagnético que, al hacer contacto con el insecto dotado de magnetita, será afectado y provocará una desorientación de su locomoción. La figura 1 muestra cómo se puede realizar la medición del campo electromagnético, en una planta, en un ensayo experimental.

Figura 1

Distribución de corrientes en un campo electromagnético sobre una planta



Nota: Los conductores están colocados en las cuatro esquinas dentro de una caja de vidrio.

Los conductores bajantes están colocados en las cuatro esquinas de la caja de vidrio del 1 al 4. Estos campos generados controlarán a insectos inhibiendo su locomoción quedando susceptibles para ataques por enemigos naturales, o simplemente pueden morir de hambre por no poder moverse para alimentarse. Esto se produce al ser bloqueadas sus

antenas y evitar su orientación por la interacción de la magnetita en sus antenas y el campo magnético generado.

Impactos sociales con el empleo de campos electromagnéticos para el control de plagas

- a) Mejoras en los ingresos y en la salud al aumentar la producción y la no utilización de productos químicos.
- b) Amplio rango de beneficiarios como clientes, inversionistas y colaboradores con este tipo de tecnología que puede ser medible, cuantificable y con un aporte al desarrollo sostenible.
- c) Cambios en la actividad productiva del sector agrícola y condición de desarrollo social con mayores ingresos por la mayor producción.

Impactos ambientales con el empleo de campos electromagnéticos para el control de plagas

Se puede tener un efecto favorable con el desarrollo del control de plagas con base en campos electromagnéticos de energía no ionizante, frecuencia variable y generada por la radiación solar pues disminuirá el uso de agroquímicos, lo que impactará positivamente en el ambiente.

Impactos económicos y financieros con el empleo de campos electromagnéticos para el control de plagas

Se puede contar con mayor rentabilidad en los cultivos con el control de plagas debido a que se aumentará la productividad.

3. CONCLUSIÓN

De acuerdo con la revisión de literatura consultada, los insectos pueden ser controlados al inhibir el funcionamiento del sistema locomotor, orientado por sus antenas, a través de la creación de campos electromagnéticos.

Los campos electromagnéticos pueden inhibir la locomoción de un insecto al ser bloqueadas sus antenas, lo que evita su orientación por la interacción de la magnetita quedando susceptible para ataques por enemigos naturales, o simplemente puede morir de inanición por no poder moverse para alimentarse.

Es necesario migrar a una nueva forma de producción agrícola sin contaminación, bajo un enfoque de manejo integrado de plagas (MIP), lo que se puede lograr controlando plagas con base en la generación de campos electromagnéticos por radiación solar en un cultivo.

4. REFERENCIAS

- Acosta-Avalos, D., Wajnberg, E., Oliveira, P., Leal, I., Farina, M. & Esquivel, D.M.S. (1999). Isolation of magnetic nanoparticles from *Pachycondyla marginata* ants. *J. Exp. Biol.*, 202: 2687-2692.
- Anderson, J. & Vander Meer, R. K. (1993) Magnetic orientation in fire ant *Solenopsis invicta*. *Naturwissenschaften*, 80: 568-570.
- Balmori Martínez, A. (2006, abril) Efectos de las radiaciones electromagnéticas de la telefonía móvil sobre los insectos. *Ecosistemas*, 15(1), 87–95.
- Gould J. L. (1980) El caso de la sensibilidad magnética en aves y abejas (tal como es). *American Scientist*, 68: 256-267.
- Luquin, R. (2013) Contaminación por radiación electromagnética en personas vulnerables: tutela preventiva y generación de otras fuentes de energía. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 1-28.
- Schiff, G. (1993) The magnetic and electric field induced by superparamagnetic magnetite in honeybees. *Biol Cybern*, 7–17 .
- Vácha, M. (1997) Magnetic orientation in insects. *Biologia Bratislava*, 52: 629-636.

5. AGRADECIMIENTOS

Este artículo ha sido realizado en el marco del Postdoctorado en Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Un agradecimiento a la FAUSAC por apoyar el desarrollo de las investigaciones y publicaciones realizadas durante este programa postdoctoral.



Incentivo a sistemas agroforestales en fincas pequeñas del corredor seco del oriente de Guatemala: potencial y limitantes

Boris Augusto Méndez Paiz¹
Carmen Eugenia Marroquín Chávez²

Recibido el 14 de julio de 2022.

Aprobado el 28 de agosto de 2022.

¹ Doctor en Ciencia. Profesor Titular, Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala. Email bmpaiz16@gmail.com

² Ingeniera en RNR, Asesora Forestal Proyecto Adaptación al Cambio Climático en el Corredor Seco de Guatemala,

RESUMEN

El Estado de Guatemala incentiva monetariamente a pequeños productores rurales que incorporan especies leñosas en Sistemas Agrícolas tradicionales de producción alimenticia. Este trabajo se realizó en el Corredor Seco del nororiente del país con el propósito de identificar Sistemas Agroforestales -SAF- utilizados con mayor frecuencia por el Programa Nacional de Incentivos Forestales para Pequeños Productores Agropecuarios, en el municipio de Huité, analizando la composición y estructura de los Sistemas, describiendo el perfil socioeconómico de los beneficiarios y los alcances del incentivo. La superficie cultivada por productor varió entre 0.3 y 2 hectáreas; el SAF y la especie leñosa más frecuentes fueron Cultivo en Callejones con *Gliricidia sepium* asociado a maíz, sorgo y frijol como cultivos agrícolas. Los sistemas se caracterizan por estar en tierras marginales para agricultura, con fuertes pendientes, suelos superficiales y total dependencia del agua de lluvia. La duración típica del ciclo de vida del componente leñoso es de 6 años, pudiendo renovarse al final de cada ciclo. Los resultados muestran el impacto positivo que el componente leñoso, con buen manejo, tiene en la conservación de suelo y agua, lo cual incrementa la posibilidad de éxito de los cultivos alimenticios, proporcionando además leña como fuente energética, contribuyendo a incrementar la resiliencia a los efectos del cambio climático en pequeños productores en tierras marginales para agricultura en la zona seca. El programa tiene un impacto positivo al aportar recursos financieros para la implementación de proyectos, sin embargo, requiere complementarse con asistencia técnica.

Palabras clave:

Cultivo en Callejones, *Gliricidia sepium*.

ABSTRACT

The Government of Guatemala provides incentives as payments to small agricultural producers that incorporate tree species on traditional food agricultural systems. This research was carried out on the Dry Corridor of northeastern Guatemala, with the aim to identify Agroforestry Systems -AFS- frequently implemented by the National Program of Forest Incentives for Small Producers in the municipal district of Huite, analyzing system composition and structure, describing the socioeconomic profile of beneficiaries and the scope of the incentives. Cultivated surface by individual producers varied between 0.3 and 2 hectares; the AFS and tree species most common were Alley Farming and *Gliricidia sepium* associated to Maiz, Sorghum and Beans as agricultural crops. Systems are located in marginal lands for agriculture, characterized by steep slopes, shallow soils and total dependence on rain water. Typical length of tree lifecycle is 6 years, being feasible its renovation at the end of each cycle. Our results show the positive impact that tree component with judicious management might bring for soil and water conservation, which increases the feasibility of success for food crops, enhancing in complement fuelwood as a source of energy, both enhancing resilience to small farmers to reduce their vulnerability to climate change effects under the harsh conditions of the dry corridor of the country. Overall, the Program has a positive impact when providing financial resources to support project implementation; however, permanent technical assistance is needed to promote sustainability of the initiative.

Keywords:

Alley Farming, *Gliricidia sepium*.

1. INTRODUCCIÓN

Las tierras agrícolas en zonas secas en los países en desarrollo enfrentan crecientes retos para producir suficiente alimento para sus poblaciones; la investigación y extensión orientada a incrementar la productividad agroalimentaria en tierras marginales con pequeños productores requiere un abordaje desde el enfoque de mejora de los medios de vida, lo que implica considerar el manejo de los recursos naturales, la mejora genética de los cultivos y la capacidad socioeconómica, política e institucional que apoye a este tipo de productores (CGIAR Research Program, 2013). Guatemala ocupa el sexto lugar entre los países del mundo y el primero en América Latina y El Caribe en cuanto a desnutrición crónica, situación que se agudiza en años de fuerte sequía, en particular en el Corredor Seco (USAID, 2021). Los pequeños y medianos productores juegan un papel central en la producción de alimentos básicos del país y por tanto en la lucha contra la inseguridad alimentaria; la promoción de prácticas que propicien la construcción de esquemas más resilientes, reduce su vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, al estabilizar los sistemas agropecuarios.

El término “Corredor Seco”, aunque apunta a un fenómeno climático, tiene una base ecológica al definir a un grupo de ecosistemas que se combinan en la ecorregión del bosque tropical seco de Centroamérica, que inicia en Chiapas, México, y, en una franja, abarca las zonas bajas de la vertiente del Pacífico y gran parte de la región central premontana (0 a 800 msnm) de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y parte de Costa Rica (Van der Zee et al., 2012). El Corredor Seco de Guatemala es una de las regiones más sensibles a la variabilidad del clima en Centroamérica; los productores a pequeña escala de comunidades rurales en esta zona, en respuesta a la baja productividad y poca disponibilidad de tierra, históricamente han buscado convertir áreas con cobertura arbórea en nuevas zonas de cultivo de granos básicos y producción animal, ampliando de esa forma la frontera agropecuaria (Ministerio de Agricultura, 2016; Ministerio de Ambiente, 2009).

Los sistemas agroforestales -SAF- son esquemas de gestión de la tierra en los que árboles y arbustos leñosos son cultivados en la misma área con cultivos agrícolas y/o producción animal para incrementar la diversidad, productividad y rentabilidad del sistema, al tiempo que se promueve la protección ambiental; la agroforestería propicia sistemas productivos más diversos, reduciendo así riesgos económicos con la obtención de múltiples productos, contribuyendo a estimular las economías locales (Oelbermann, 2019; Montagnini et al., 2015; Nair, 1993). El diseño de SAF debe responder a las condiciones ecológicas, económicas y sociales en que son implementados; especies ideales para uso en estos sistemas son aquellas que pueden servir para la función protectora de prevenir pérdida de nutrientes en el suelo y al mismo tiempo proveer un producto útil en la

subsistencia de los productores o para su uso comercial; especies con tales características se denominan árboles de uso múltiple (Ashton & Kelty, 2018).

El sistema denominado Cultivo en Callejones, en inglés Alley-Cropping, comparte con otros SAF la incorporación de árboles en sistemas agrícolas por sus efectos positivos en el reciclaje de nutrientes y ha sido empleado para mejorar las condiciones de cultivos herbáceos alimenticios que son altamente demandantes de luz, tales como yuca, maíz y frijoles; en este sistema los cultivos anuales se plantan en medio de hileras o setos de árboles que se mantienen usualmente de tamaño arbustivo por medio de podas reiteradas, a manera de reducir la sombra; las especies arbóreas plantadas en los setos incluyen a las leguminosas *Cassia Spp.*, *Gliricidia Sepium*, *Flemingia Spp.*, y *Erythrina Spp* (Yamoah, Agboola & Wilson, 1986; Schroth & Zech, 1995). Las ramas podadas de los setos de árboles forman una cobertura verde que se aplica a los cultivos agrícolas, mejorando así la disponibilidad de humedad y nutrientes al incrementar el contenido de materia orgánica del suelo, pudiendo ser crítico este tipo de socios bajo condiciones de clima seco y suelos degradados o marginales para agricultura intensiva (Ashton & Kelty, 2018), por su efecto positivo en reducir la erosión del suelo y la dependencia de fertilizantes y pesticidas químicos, minimizar la pérdida de nitrógeno y promover la biodiversidad (Zamora & Wyatt, 2018), el secuestro de carbono en el suelo (Albrecht & Kandji, 2003) y otros servicios ecosistémicos (Jose, 2009). El manejar apropiadamente múltiples cultivos en forma simultánea puede hacer la finca más productiva a lo largo del año, incrementando los ingresos y reduciendo riesgos asociados con el monocultivo (California State University Chico, 2018). En las zonas secas del oriente de Guatemala y el occidente de Honduras se ha utilizado históricamente el sistema quezungual, método de agricultura tradicional que combina árboles con el cultivo de granos básicos (Hellin, William & Cherrett, 1999; FAO, 2018); este sistema, también conocido en el oriente de Guatemala como Kuxur Rum (“Tierra Húmeda” en idioma Chortí) fue estudiado y promovido extensamente en el Corredor Seco de Guatemala por una iniciativa financiada por Naciones Unidas (Ramírez, Bigi & Moscoso, 2015) destacando la conservación de humedad en suelo por la incorporación de ramas podadas del componente arbóreo.

La Cooperación del Gobierno Federal de Alemania (KFW) y el Instituto Nacional de Bosques (INAB), trabajan en conjunto en el Programa de Incentivos Forestales para Pequeños Poseedores de Tierra -PINPEP-, dirigido a otorgar incentivos forestales a pequeños productores, con la finalidad de promover la reforestación, adopción y mejora de sistemas agroforestales en los municipios con mayor vulnerabilidad al cambio climático, enfatizando el fortalecimiento de sistemas agroalimentarios para promover seguridad alimentaria y sostenibilidad ecológica (Marroquín, 2020; Instituto Nacional de Bosques, 2022). El supuesto bajo el cual se estableció el PINPEP fue que el otorgar estímulos económicos a este tipo de propietarios en zonas rurales induce mayor

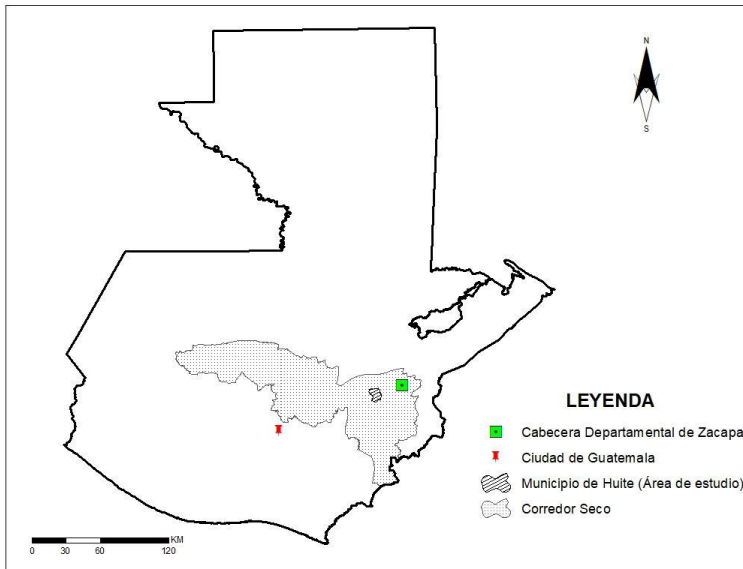
estabilidad en sistemas agrícolas, particularmente en producción de granos, la base alimentaria de las familias rurales, al tiempo que satisfacen parcialmente la necesidad de obtención de leña, la principal o única fuente de energía para las familias rurales pobres. El municipio de Huité, en el departamento de Zacapa, forma parte del Corredor Seco en el nororiente de Guatemala y en él se ha implementado durante varios años el PINPEP. Se carece de información actualizada que permita conocer la efectividad del programa en cuanto a incidir en la adopción y mejora de SAF y su impacto en la productividad agrícola y seguridad alimentaria, así como en el abastecimiento de leña por las familias pobres en zonas rurales del municipio. En este trabajo se analizó el tipo de sistema adoptado, así como la estructura y función de los sistemas agroforestales empleados por pequeños productores en Huité, en el marco del PINPEP. Con base en los hallazgos, se plantean recomendaciones para mejorar la efectividad del Programa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Contexto ambiental del estudio

La investigación se realizó en la zona seca del municipio de Huité, la cual forma parte del denominado Corredor Seco de Guatemala (figura 1). La altitud media de la zona estudiada es de 295 m s.n.m., entre las coordenadas geográficas: 145503 Latitud Norte y 894302 Longitud Oeste (Marroquín, 2020). La cabecera municipal se encuentra a 36 km. al oeste de la cabecera departamental de Zacapa y a 130 km. de la ciudad de Guatemala (Gall, 1983).

Figura 1. Ubicación del área de estudio y Corredor Seco de Guatemala.



Las zonas de vida vegetal corresponden a Bosque Seco Subtropical y Monte Espinoso Seco (De La Cruz, 1982). Datos meteorológicos de la Estación Pasabien, municipio de Río Hondo, Zacapa, ubicada en una condición climática similar y cercana al área de estudio, reporta una temperatura media anual de 27.1°C, con la temperatura media menor en diciembre con 24.8 °C y la mayor en abril y mayo con 29.5 °C, 860 mm de lluvia anual y evapotranspiración anual de 1,563 mm, conduciendo a un balance hídrico negativo de

811 mm anuales. Ocurren 9 meses secos (déficit hídrico), presentándose como los únicos meses con superávit de humedad los de junio, agosto y septiembre (Mateo, Salazar, Escobar & Marroquín, 2021). Por tanto, la estación lluviosa es corta y puede ser muy variable, lo que genera condiciones de alto riesgo para cultivos anuales sin riego, como los de granos básicos.

Los órdenes de suelo predominantes son Inceptisoles y Vertisoles. Los segundos son los de mayor frecuencia, caracterizándose por altos contenidos de arcilla expandible desde la superficie, lo que conduce a la formación de grietas profundas en todo el perfil, observables mayormente en época seca. Cuando húmedos, estos suelos se vuelven muy plásticos; usualmente poseen alto potencial de fertilidad para la producción agrícola, aunque son difíciles de labrar, especialmente al estar secos, por lo que requieren cuidadoso manejo de la humedad. Usualmente ocupan relieves que van de planos a inclinación moderada (UPIE-MAGA, 2000).

2.2. Perfil de los productores evaluados

El programa PINPEP está dirigido a pequeños productores, usualmente poseedores de tierra, catalogados por el gobierno de Guatemala como agricultores de infra subsistencia (las familias más vulnerables, en pobreza y pobreza extrema, las cuales no producen alimento suficiente para su autoconsumo, manteniendo riesgo permanente de inseguridad alimentaria y nutricional) y subsistencia, que se caracterizan por situación de pobreza, con limitada posesión de tierra, produciendo para autoconsumo y eventualmente alcanzan excedentes que venden localmente (Ministerio de Agricultura, 2016). Estos productores requieren la implementación de políticas públicas que hagan atractiva su permanencia en el campo, fomentando la sostenibilidad ambiental con énfasis en prácticas que garanticen el acceso a agua segura y la soberanía alimentaria (Van der Zee et al., 2012).

2.3. Metodología

Se revisó la base de datos de proyectos beneficiados con PINPEP en el municipio de Huité, y a partir de ello se identificó la modalidad de Árboles Asociados a Cultivos Anuales en Callejones, como el tipo de sistema agroforestal más frecuente, tomando este criterio como la base para seleccionar a los productores de la muestra, la cual consistió en ocho agricultores, distribuidos en función del momento del ciclo del proyecto en que se encontraban; el ciclo de los proyectos es de 6 años, lo que corresponde al período en que reciben el pago del incentivo. Por tanto, los proyectos muestreados se encontraban entre el año 2 y el 6 del ciclo. Es importante indicar que el trabajo de campo se llevó a cabo en la fase de mayor afectación de la pandemia de Covid-19.

Los aspectos evaluados fueron la estructura y composición de los SAF, los rasgos ambientales de cada sitio (pendiente de terreno, factores limitantes como pedregosidad y drenaje, profundidad y textura del suelo), así como obtención de información socioeconómica de los productores (consumo y estrategia de abastecimiento de leña, rendimientos de los componentes agrícola y leñoso del SAF). La información de los proyectos está contenida en expedientes archivados en la Oficina Regional de INAB en Zacapa, siendo parte de los requerimientos para aplicar al programa de incentivos; cada expediente incluye un plan de manejo del sistema a establecer, que contempla la descripción de las especies agrícola y forestal a plantar, los marcos de plantación y prácticas de manejo de estos (Marroquín, 2021).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. El Programa PINPEP y perfil de productores incentivados

En Guatemala han existido programas de incentivos para el cultivo de bosques desde mediados de la década de 1970. En sus inicios los incentivos estuvieron orientados hacia grandes empresas por medio de deducciones al impuesto sobre la renta. Con la creación del Instituto Nacional de Bosques, como entidad rectora de la gestión del recurso forestal del país (Congreso de la República, 1996), surgió una nueva ronda de incentivos para el sector forestal, con un carácter más amplio y una asignación presupuestal anual, lo que expandió significativamente el tipo de productores beneficiarios y las superficies cultivadas, por medio del Programa PINFOR que se convirtió en el actual Programa PROBOSQUE. Sin embargo, los pequeños productores agrícolas del país continuaron sin tener acceso al beneficio del incentivo forestal, debido a que estos programas establecían una superficie mínima de 2 hectáreas, así como poder demostrar la propiedad de la tierra con un documento del Registro Nacional de la Propiedad, ambos aspectos inalcanzables por la mayoría de campesinos pobres que constituyen un amplio sector del agro nacional. En respuesta a este vacío, surge el programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal o Agroforestal -PINPEP-, considerado como auxiliar o complemento al programa convencional de incentivos.

La Cooperación Holandesa apoyó la creación del PINPEP, brindando asistencia técnica y financiera al gobierno de Guatemala durante el período 2005 a 2011, considerando que reducir la pobreza en zonas rurales requiere fortalecer la gobernanza ambiental. En 2008 diferentes organizaciones campesinas en Chiquimula, Sololá y Alta Verapaz plantearon la necesidad que el gobierno de Guatemala convirtiera el programa en permanente con fondos públicos, derivando en la aprobación por el Congreso de la República del Decreto 51-2010, con lo que se oficializa el PINPEP, comprometiendo el Estado de Guatemala a asignar entre 0.5-1% de sus ingresos anuales al mismo (Congreso de la República, 2010, Instituto Nacional de Bosques, 2022).

Perfil de proyectos incentivados

Durante el año 2019 un total de 72 proyectos fueron incentivados por el PINPEP en el municipio de Huité, de los cuales más del 90% ocupan una superficie entre 0.5 y 2 hectáreas, el resto tienen una extensión menor a 0.5 ha. 70 proyectos correspondieron a la modalidad de cultivo de especies leñosas en callejones en asocio con cultivos anuales alimenticios y solamente 2 proyectos establecieron cercos vivos. Los cultivos alimenticios incluidos en los sistemas corresponden a los granos básicos maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), y sorgo (*Aorghum halepense*), así como de ayotes (*Cucurbita*

sp.), en diferentes combinaciones, predominando el asocio maíz-frijol-sorgo. En cuanto al número de proyectos beneficiados, durante el período de estudio (2013-2017), se apreció una tendencia a la baja en el número de proyectos (24 en año 2013, 16 en 2015 y solamente 6 en 2017) así como en la superficie incentivada por año (18 hectáreas en 2013, 14.4 hectáreas en 2015 y 5.87 en 2017).

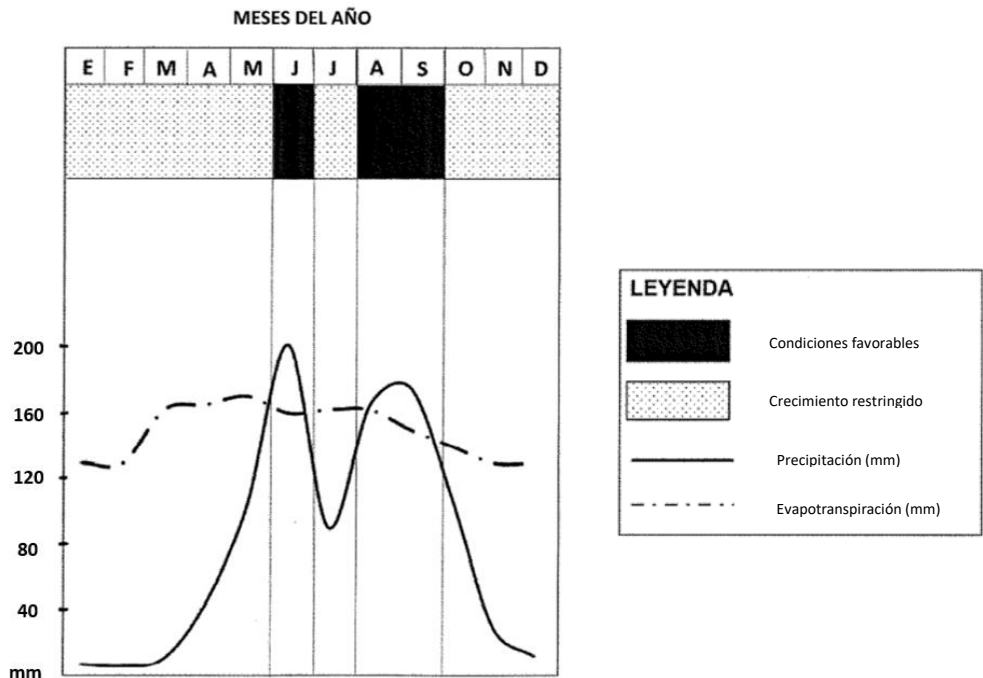
3.2. Rasgos Ambientales, Estructura y Composición de Proyectos

Las ocho unidades productivas de la muestra se ubican en las Zonas de Vida Bosque Subtropical Seco y Monte Espinoso Seco (De la Cruz, 1982), características del denominado Corredor Seco de Guatemala. Con datos climáticos típicos de la zona, con registro de 10 años (2010-2019), se calculó un balance hídrico de referencia para la zona de estudio (cuadro 1) y el climadiagrama correspondiente (figura 2), resaltando lo prolongado de la estación seca, la reducida cantidad de lluvia y las altas temperaturas, todo lo cual conduce a una condición de estrés hídrico para cualquier tipo de planta durante la mayor parte del año, definiéndose solamente tres meses con humedad atmosférica favorable, lo que resalta la necesidad de implementar sistemas de cultivo que maximicen la conservación de la humedad en el suelo y el uso de cultivares agrícolas y leñosos adaptados a esta condición climática. Las condiciones favorables corresponden a los meses de junio, agosto y septiembre; el resto de los meses corresponden a un crecimiento restringido.

Cuadro 1. Datos climáticos estación Pasabién, cuenca media Rio Motagua

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Lluvia (mm)	1.9	0.8	5.3	37	94.5	189.8	81.9	155	164.8	99.1	23.3	7	860
Días de lluvia	0.5	0.5	0.9	1.9	7.8	13.2	9.1	11	12.5	7.9	3.1	1.4	69
T media °C	25.3	26.1	28	29.5	29.5	26.2	27.7	28	27.7	26.9	25.7	24.8	27.1
Hr media (%)	74.7	71.5	69.6	69	72	77.2	77.6	78	79.6	80	79.2	78.3	75.5
ETP (mm)	120	120	152	155	160	150	152	152	140	130	120	120	1563
Balance (mm)	-118.1	-119.2	-146.7	-118	-65.5	39.8	-70.1	3	24.8	-30.9	-96.7	-113	-810.6

Figura 2. Climadiagrama del área de estudio.



Las unidades productivas incluidas en la muestra, presentaron pendientes entre 45 y 60%; de acuerdo con Sevilla & Comerma (2009), este intervalo de pendientes puede catalogarse como de severas limitaciones para cultivos agrícolas. Todos los productores dependen del agua de lluvia (sin irrigación); por tanto, el manejo de humedad en el suelo constituye el factor crítico para incrementar la posibilidad de sobrevivencia de cultivos agrícolas. Los suelos son de textura franca, con ligeras variaciones, la pedregosidad de ligera (menor al 5%) a moderada (5-20%), no presentando problemas de drenaje por la escasa precipitación y las favorables condiciones de textura, oscilando la profundidad entre 20 y 35 cm. En síntesis, se trata de tierras frágiles para uso agrícola, requiriendo un manejo cuidadoso para conservar la humedad y la fertilidad del suelo.

3.3. Tipo de SAF y especie leñosa cultivada

Todos los productores incluidos en la muestra utilizan el SAF de asociado de maderables con cultivos anuales en callejones, con madrecazo (*gliricidia sepium (jacq.) steud*), familia fabácea, como la única especie leñosa incluida en el sistema. El predominio de este SAF en la zona probablemente se debe a la fuerte promoción realizada por un proyecto financiado por la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en alianza con varias entidades públicas y de cooperación internacional, incluyendo al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación e INAB, a inicios de la década de 2000 en la zona oriental del Corredor Seco de Guatemala, que incluyó al municipio de Huité (Ramírez, Bigi, & Moscoso, 2015). *G. sepium* está reportada como especie nativa de bosques secos en México y centroamérica, cultivada extensamente fuera de su zona de distribución natural en los trópicos y subtropicos en cercos vivos y como árbol de sombra y productor de forraje en sistemas agroforestales, adaptado a climas cálidos húmedos y secos, con hasta 8 meses secos al año y precipitación anual tan baja como 600 mm; tolerante a sequías, con temperaturas anuales promedio entre 22 y 28 °C (Parrotta, 2000), definida como especie pionera de larga vida y rápido crecimiento (Griscom & Ashton, 2011).

Entre los usos del madrecazo destacan su cultivo para cercos vivos y forraje para ganado vacuno (Wishnie et al., 2007), fertilizante orgánico del suelo con su follaje y por su capacidad de fijación biológica de nitrógeno y madera para combustible (Griscom & Ashton, 2011). La madera es dura, fuerte, de textura tosca y con una fibra irregular; seca bien al aire y, a pesar de que no se trabaja con facilidad, se puede lijar bien para obtener un buen acabado y es resistente a termitas y pudrición. Es una buena fuente de madera para combustible y tiene un peso específico de entre 0.47 y 0.75 g/cm³, usada extensamente para postes, durmientes de ferrocarril y en construcción pesada y localmente para implementos agrícolas, mangos de herramientas y artículos pequeños (Parrotta, 2000).

En una investigación iniciada en 1984 en una amplia gama de sitios tropicales semiáridos y subhúmedos, en la cual se evaluó la producción de biomasa leñosa en 13 sitios de 27 especies arbóreas no industriales, provenientes de las zonas secas de Centroamérica, *G. sepium* estuvo entre las cuatro especies más productivas en todos los sitios junto a *leucaena leucocephala*, *acacia pennatula* y *albizia guachepele* (Stewart & Dunsdon, 1994). En otro ensayo realizado en tres localidades en Panamá, en sitios húmedos y secos con 24 especies maderables, *G. sepium* estuvo entre las especies de mayor crecimiento en altura, diámetro y volumen en tres localidades, destacando como una especie generalista en cuanto a requerimientos ambientales y con múltiples usos, incluyendo la restauración de sitios degradados por la rapidez con que coloniza los sitios y la fijación biológica de nitrógeno (Wishnie et al., 2007). Pocas especies leñosas para usos no industriales se ajustan mejor al concepto de árbol de uso múltiple que *G. sepium*. Dentro de sus rangos de distribución natural y de cultivo es utilizada para diferentes usos, incluyendo cercos vivos, estabilizar suelos y prevenir erosión, sombra de cultivos, como ornamental y en medicina tradicional (Simons & Stewart, 1994). Los SAF de la muestra presentaron una edad entre 3 y 7 años.

Componente agrícola y manejo del SAF

Cuatro son los cultivos agrícolas incluidos en el SAF: *zea mays* (maíz), *phaseolus vulgaris* (frijol), *sorghum halepense* (sorgo) y *cucurbita sp.* (ayotes), todos ellos componentes de la dieta básica de los productores. Aunque la inclusión de estos cultivos en los SAF va desde el monocultivo de maíz hasta el asocio de los cuatro cultivos, predomina el asocio de maíz-frijol-sorgo. El asocio de varios cultivos alimenticios de granos básicos junto a madrecaao en el Corredor Seco del oriente de Guatemala se conoce como “Kuxur Rum”.

Entre las prácticas habituales del Kuxur Rum se incluyen labranza mínima, el manejo de residuos orgánicos de cosecha agrícola, incluyendo podas de árboles de *G. sepium* y uso de residuos orgánicos de huertas familiares, todo empleado en el manejo de acolchado, evitar la quema de residuos para mantener materia orgánica en la preparación del terreno previo a la siembra, el uso de curvas de nivel en laderas, semillas seleccionadas por los propios productores, diversificación de cultivos y rotación cuando es posible, uso de cortinas rompeviento con madrecaao y construcción de terrazas (Ramírez, Bigi, & Moscoso, 2015).

Entre las múltiples funciones de la inclusión de *G. sepium* en el sistema, destaca la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, lo cual contribuye a la nutrición de los cultivos alimenticios, reduciendo la compra de fertilizantes sintéticos.

Los árboles de *G. sepium* se plantan a un distanciamiento de entre 6 y 7 metros entre líneas (ancho del callejón del cultivo agrícola) y una distancia entre árboles en cada línea de entre 1 y 2 metros. La razón por la que los usuarios prefieren usar madrecaeo es por su adaptación (soporta períodos prolongados de sequía), facilidad de establecimiento (alta capacidad de producción de semillas) y manejo, así como su rápido crecimiento. Las semillas son adquiridas principalmente entre productores, no se cuenta de momento con un banco semillero local de ningún tipo. El manejo de árboles consiste en podar a los tres años de edad, distribuyendo las ramas cortadas en los surcos de los cultivos agrícolas, y la corta final a los 6 años, cuando concluye el ciclo; el inicio del nuevo ciclo puede hacerse por plantación o por manejo de rebrotes, dependiendo de la capacidad de brotación de los árboles aprovechados.

G. sepium produce leña de buena calidad, arde con poco humo y tiene un valor calorífico alto. También es usado como insecticida, aprovechando las hojas, corteza y raíces, ya que contienen sustancias tóxicas para plagas, localmente lo usan para envenenar roedores en los campos de cultivo. La madera que se adquiere de los proyectos, en su gran mayoría es aprovechada únicamente como leña y en algunos casos para postes de cercos. El componente arbóreo aporta diferentes servicios directamente relacionados con el suministro de nutrientes al suelo, proveniente de las hojas caídas naturalmente, del material de poda depositado y de la fijación simbiótica de nitrógeno. El cuadro 2 muestra los productos y servicios de los SAF evaluados.

Cuadro 2. Productos y servicios de los SAF evaluados.

Componente	Productos/Usos	Servicios
Madre Cacao	- Combustible	- Fijación biológica N.
	- Forraje	- Conservación de suelos.
	- Insecticida	- Aporte de materia orgánica
	- Cercos	
Maíz	Fruto comestible	- Fijación biológica N.
Frijol		- Aporte de materia orgánica
Sorgo		

En maíz se tienen dos cosechas al año, la primera siembra se realiza en mayo y se cosecha a fines de agosto y la segunda siembra a principios de septiembre para cosechar a finales de diciembre; el frijol y sorgo se siembran en agosto, cosechando el frijol en diciembre y el sorgo en enero del siguiente año; para ambos solo se obtiene una cosecha al año. Los productores evitan labrar el suelo de los surcos para el cultivo de granos, utilizando la biomasa de podas y restos de cosecha para cobertura del terreno, esencialmente para conservar humedad.

3.4. Impacto del Incentivo para el Pequeño Productor Agroforestal

En las zonas rurales de Guatemala, una alta proporción de la población depende directamente de la leña como fuente principal de energía para cocinar alimentos. Es previsible que, frente a la fluctuación de los precios del petróleo, la demanda de leña y madera para uso doméstico se incremente en el futuro. En este trabajo se encontró que la leña continúa siendo la principal fuente energética de las familias rurales en el municipio de Huité, donde el número de miembros por familia osciló entre 4 y 10 (6.75 en promedio), el consumo de leña fluctuó entre 3 y 6 cargas/mes (4.13 en promedio), indicando todos los entrevistados que el origen de la leña es una combinación entre colecta en bosque comunal, cosecha de SAF propio y compra a terceros.

Una carga de leña equivale a 0.25 m³ de madera y cubre la necesidad de 2-3 personas por un mes; es decir que, en promedio, el consumo mensual por familia es de 1 m³ de leña y anualmente de 12.4 m³. El precio de la carga fluctúa entre Q45 y Q50; por tanto, el m³ de leña oscila entre Q180 y Q200, equivalente a un valor monetario anual para leña promedio por familia de entre Q2,232 y Q2,480. La superficie media de tierra cultivada por unidad productiva fue de 0.72 hectáreas. Aun cuando no fue posible obtener datos

de la proporción de leña obtenida de SAF en el consumo de las familias beneficiarias del programa de Incentivos, se confirmó que la madera cosechada de madrecaño en los SAF contribuye parcialmente al consumo familiar; en general los pequeños productores requieren comprar leña para completar su abastecimiento energético.

En cuanto a los rendimientos de granos básicos, para maíz el promedio anual por finca (0.72 hectáreas) fue de 28 quintales, incluyendo las 2 cosechas, 9.75 quintales para frijol y 45.75 quintales para sorgo. El destino de los granos es para autoconsumo, incluyendo alimento para aves y otros animales domésticos, y, cuando hay excedentes estos se comercializan localmente. Los precios del maíz en mercados locales oscilaron entre Q100 y Q105 el quintal; para frijol el precio osciló entre Q300 y Q310 por quintal; el precio del sorgo se encontró alrededor de Q305 por quintal. El monto de pagos por hectárea que se realiza en el programa PINPEP es de Q9,157.00/ha, distribuido en 6 años; el pago del incentivo puede ser recibido una sola vez por productor. Los pequeños productores cultivan toda la tierra de que disponen anualmente, a diferencia de los productores medianos, quienes acostumbran dejar en barbecho una porción de sus parcelas como parte de su sistema de manejo.

4. CONCLUSIONES

El Programa de Incentivos Forestales al Pequeño Productor -PINPEP- contribuye a reducir la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria de familias rurales pobres en el Corredor Seco de Guatemala, haciéndolos más resilientes ante los efectos del cambio climático. En el área estudiada, en Huité, Zacapa, predomina el Sistema Agroforestal de Cultivo en Callejones, asociando árboles de madrecacao con los cultivos anuales alimenticios de maíz, frijol y sorgo. El sistema aplica los conocimientos del método conocido como Kuxur Rum, orientado entre otros propósitos a conservar la humedad y nutrientes en el suelo por medio de la incorporación de materia orgánica proveniente de la poda de los árboles y de las cosechas del componente agrícola. Adicionalmente, los árboles de madrecacao fijan nitrógeno atmosférico en el suelo y aportan madera para uso energético y construcción doméstica.

Es necesario fortalecer el acompañamiento a los pequeños productores agrícolas en el corredor seco del país, brindándoles asistencia técnica y capacitación para mejorar sus sistemas productivos de alimentos, energía y mejoramiento de viviendas, lo cual puede ser proporcionado por el sistema agroforestal de cultivo en callejones. Estas funciones de extensionismo debieran ser incorporadas al quehacer del Instituto Nacional de Bosques como parte del programa PINPEP. El énfasis debiera dirigirse hacia los productores que ya fueron beneficiarios con el incentivo forestal, de tal forma que este pueda tener un impacto duradero con la adopción y mejora de tecnologías que demandan pocos recursos externos. Consolidar organizaciones locales de pequeños productores puede permitir el establecimiento de bancos de germoplasma y viveros comunales para conservar semillas y producir plántulas de madrecacao y otras especies leñosas nativas de usos múltiples, de manera permanente, así como compartir experiencias entre productores que propicien el desarrollo local.

5. REFERENCIAS

- Albrecht, A. & Kandji, S. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99: 15-27.
- Ashton, M. & Kelty, M. (2018). *The Practice of Silviculture Applied Forest Ecology*. Tenth Edition. Wiley.
- California State University Chico. (2018). Alley Cropping. The Center for Regenerative Agriculture and Resilient Systems. Recuperado de <https://www.csuchico.edu/regenerativeagriculture/assets/documents/factsheets/alley-cropping-fact-sheet.pdf> el 05/03/2022.
- CGIAR Research Program on Dryland Agricultural Production Systems. (2013). *New Research Approaches to improve drylands agriculture to deliver a more prosperous future*.
- Congreso de la República. (1996). Decreto 101-96, Ley Forestal. Guatemala: Autor.
- Congreso de la República (2010). Decreto 51-2010, Ley de Incentivos Forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal -PINPEP-.
- De la Cruz, R. (1982). *Clasificación de Zonas de Vida Guatemala a nivel de reconocimiento*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala: autor.
- FAO. (2018). *Caracterización de los Sistemas Agroforestales Kuxur Rum y Quesungual en el Corredor Seco de Guatemala y Honduras*. Ciudad de Panamá. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1fIAv9K7akjWzImkJVfS4w18N912INN1o/view>
- Gall, F. (1983). *Diccionario geográfico de Guatemala*. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional.
- Griscom, H., & Ashton, M. (2011). Restoration of dry tropical forests in Central America: A review of pattern and process. *Forest Ecology and Management*, 261, 1564-1579. doi:10.1016/j.foreco.2010.08.027

- Hellin, J., William, L. & Cherrett, I. (1999). The Quezungual system: an indigenous agroforestry system from western Honduras. *Agroforestry Systems*, 46: 229-237.
- Instituto Nacional de Bosques -INAB-. (2022). Programa de Incentivos para poseedores de pequeñas extensiones de tierras de vocación forestal o agroforestal. Recuperado de: <https://www.inab.gob.gt/index.php/component/content/article/112-servicios/183-pinpep?Itemid=437> el 05/03/22.
- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, 76: 1-10.
- Marroquín, C. (2020). Diagnóstico del Incentivo Forestal PINPEP correspondiente a la Subregión III-2 del Instituto Nacional de Bosques -INAB- en el municipio de Huité, Zacapa. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Programa de Ejercicio Profesional Supervisado.
- Marroquín, C. (2021). Evaluación de los Sistemas Agroforestales implementados por Pequeños Poseedores de tierra incentivados por el Programa PINPEP en Huite, Zacapa. Protocolo de Investigación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Programa de Ejercicio Profesional Supervisado.
- Mateo, P., Salazar, M., Escobar, S. & Marroquín, C. (2021). Elaboración e interpretación de climadiagrama para Cuenca Media de Rio Motagua, Zacapa.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala -MAGA-. (2016). Política agropecuaria 2016-2020. Obtenido de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/FAO-countries/Guatemala/Publicaciones/Poli%CC%81tica_Agropecuaria_-BAJA-.pdf
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala -MARN-. (2009). Manual de agroforestería para zonas secas y semiáridas.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murkeitio, E., Fassola, H. & Eibl, B. (2015). Sistemas Agroforestales: Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454 p.

- Nair, P. (1993). *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer, Dordrecht. 499 p.
- Oelbermann, M. (2019). *Agroforestry Systems*. Oxford Bibliographies.
- Parrotta, J. (2000). *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. Leguminosae (Papilionoideae) Faboideae. En: Francis, J. & Lowe, C. Eds. *Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales*.
- United States Agency for International Development -USAID-. 2021. *Food Assistance Fact Sheet- Guatemala*.
- Ramírez, J., Bigi, A. & Moscoso, B. (2015). *Agroforestry system Kuxur rum enhancing food and nutritional security in Guatemala*. En: *Enhancing food security through forest landscape restoration: Lessons from Burkina Faso, Brazil, Guatemala, Viet Nam, Ghana, Ethiopia and Philippines*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Schroth, G. & Zech, W. (1995). *Above-and below-ground biomass dynamics in a sole cropping and an alley cropping system with Gliricidia sepium in the semi-deciduous rainforest zone of West Africa*. *Agroforestry Systems*, 31: 181-198.
- Sevilla, V. A., & Comerma, J. A. (2009). *Caracterización de la cuenca del Río Canoabo en el estado Carabobo, Venezuela. II Suelos y Tierras*. (SciELO, Productor) Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000200004
- Simons, A.J. and Stewart, J.L. (1994). 'Gliricidia sepium – a multipurpose forage tree legume'. In: Gutteridge, R.C. and Shelton, H.M.J. (eds) *Fodder Tree Legumes in Tropical Agriculture*. Wallingford, UK: CABI, 30–40
- Stewart, J.L., & Dunsdon, A. (1994). *Performance of 25 Central American dry zone hardwoods in a pan tropical series of species elimination trials*. *For. Ecol. Manage.* 65, 183-193.
- UPIE-MAGA. (2000). *Primera aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, a escala 1:250,000 -Memoria técnica-*.

- USAID. (2017). Malnutrition in Guatemala; holding our country back.
- Van der Zee, A., Van der Zee, J., Meyrat, A., Poveda, C. & Picado, L. (2012). Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación -FAO-. Roma.
- Yamoah, C., Agboola, A. & Wilson, G. (1986). Nutrient contribution and maize performance in alley cropping systems. *Agroforestry Systems*, 4:247-254.
- Wishnie, M., Dent, D., Mariscal, E., Deago, J., Cedeño, N, Ibarra, D., ... Ashton, P. (2007). Initial performance and reforestation potential of 24 tropical tree species planted across a precipitation gradient in the Republic of Panama. *Forest Ecology and Management*, 243, 39-49.
- Zamora, D. & Wyatt, G. (2018). Alley Cropping. University of Minnesota Extension. Recuperado de <https://extension.umn.edu/agroforestry/alley-cropping> el 05/03/2022.



Determinación y caracterización del agente causal de la enfermedad “pata negra” en ajonjolí (*Sesamum indicum L.*), Guatemala, C.A.

Nelly Cristina González Batres¹

Recibido el 07 de agosto de 2022.

Aprobado el 22 de agosto de 2022.

¹ Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola

Servicios profesionales, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA

nellycrisgb@gmail.com

RESUMEN

El ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) es un cultivo de importancia para la exportación de Guatemala. Reconociendo al país como exportador de ajonjolí de alta calidad. Los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez, Quetzaltenango, San Marcos, Escuintla, Petén y Santa Rosa son los principales productores de este cultivo (De León, 2014).

En la región de la costa sur, donde la extensión de producción es mayor, la principal enfermedad en el cultivo es conocida como “pata negra”. Existe controversia en cuanto al agente causal. Numerosos autores citan diferentes agentes causales (Rojas, 2000; Cespedez y Valda, 2009; Herrera y Hérnan, 2012; Almeida, 2015). El objetivo de este estudio fue la determinación y caracterización del agente causal de la enfermedad. El estudio se realizó en el año 2017 en 3 localidades del departamento de Retalhuleu, en los parcelamientos La Máquina, Caballo Blanco y la aldea Las Pilas, donde se recolectaron 30 muestras de plantas presentando síntomas.

El aislamiento de Oomycetes en laboratorio se realizó utilizando el método del cultivo trampa con manzana verde y medios selectivos. De las muestras procesadas se obtuvieron 27 cepas de *Phytophthora*. La purificación de la colonia se llevó a cabo en PDA. Estas cepas se inocularon en suelo para realizar las respectivas pruebas de patogenicidad. De las 27 inoculaciones que se realizaron, 24 presentaron resultados positivos, desarrollando los síntomas de la enfermedad “pata negra”. Por lo que se concluye que el agente causal de la enfermedad pertenece al género *Phytophthora* sp.

Palabras clave:

Patología, *Phytophthora*, Sésamo.

ABSTRACT

Sesame (*Sesamum indicum L.*) is an important export crop for Guatemala. Recognizing the country as an exporter of high quality sesame. The departments of Retalhuleu, Suchitepéquez, Quetzaltenango, San Marcos, Escuintla, Petén and Santa Rosa are the main producers of this crop (De León, 2014).

In the South Coast region, where the largest production area is concentrated, the main disease is known as "pata negra". There is controversy regarding the causal agent, numerous authors cite different causal agents (Rojas, 2000; Cespedez & Valda, 2009; Herrera & Héran, 2012; Almeida, 2015). The purpose of this study was the determination and characterization of the causal agent of the disease. The study was carried out in 2017 in 3 locations of the department of Retalhuleu, in La Maquina, Caballo Blanco and Las Pilas villages, 30 samples of diseased plants were taken.

Isolation of Oomycetes in the laboratory was carried out by the method of trap culture with green apple and selective culture medium. From the processed samples, 27 strains of Phytophthora were obtained. Colony purification was set up PDA. The strains were inoculated in soil for the respective pathogenicity test. From the 27 inoculations, 24 recorded as positive, presented symptom development of the "pata negra" disease. It is concluded that the causal agent of the disease belongs to the *Phytophthora sp* genus.

Key words:

Pathology, Phytophthora, Sesame seed.

1. INTRODUCCIÓN

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- (2016) se exportaron en promedio 27,130 T de ajonjolí anualmente. Los departamentos en la región de la costa sur son los principales productores, generando empleos e ingresos debido a la comercialización y exportación del cultivo (De León, 2014). La principal enfermedad en el cultivo se conoce como “pata negra”. Existe controversia en cuanto al agente causal y Rojas (2000) menciona que es causado por patógenos que pueden estar asociados (*Fusarium oxysporum* y *Macrophomina phaseolina*). Cespedez y Valda (2009) nombran a *Phytophthora parasitica* como el agente causal de la “pata negra”, por su parte Almeida (2015) nombra a *Phytophthora sp.* como el causante de la enfermedad llamada “tizón foliar” y “pudrición del cuello de la raíz”.

La enfermedad provoca la coloración negra y rojiza en la base del tallo (Rojas, 2000), estrangulamiento del tejido, marchitamiento y caída de la masa foliar, causando la muerte definitiva de la planta (Rojas, 1998).

Para la determinación del agente causal es necesario realizar procesos que descarten fisiopatías u otros patógenos que se encuentran donde se desarrolla la planta, esto se logra cultivando el patógeno en medios selectivos para obtener aislados puros que faciliten su identificación e inoculación en hospederos sanos, comprobando así los postulados de Koch (Arauz, 1998). La determinación del agente causal permitirá que los productores de ajonjolí identifiquen las condiciones que favorecen el desarrollo de la enfermedad, así como la implementación de medidas específicas necesarias para reducir el daño y las pérdidas del cultivo en el campo.

2. METODOLOGÍA

Se realizó una fase de campo en donde se recolectaron muestras de material enfermo (planta completa, incluyendo raíz y suelo), y se registró la aparición de síntomas y signos en relación a la fenología. Además, se recolectaron muestras de suelo para su análisis, datos de las estaciones meteorológicas cercanas del INSIVUMEH y el manejo cultural y químico del cultivo para descartar la posibilidad de que estos factores sean los causantes de ciertas anomalías en el desarrollo de las plantas.

En la fase de laboratorio se utilizó la metodología para el aislamiento de Oomycetes con cultivo trampa infectando manzanas verdes con muestras de suelo y raíz del material enfermo. Posteriormente, se procedió al aislamiento de las partes infectadas en medios selectivos (Rivas et al. 2008), Los medios utilizados fueron: PARPB (Pimaricina, Ampicilina, Rifampicina, Benomil y Pentacloronitrobenceno) que permite el aislamiento de *Pythium* y el PARPBH que además contiene Hymexazol utilizado para aislar *Phytophthora*. Las siembras realizadas se incubaron a 25 °C.

Después de desarrolladas las colonias se procedió a trasladar a un medio PDA (papa-dextrosa-agar) para obtener colonias puras del patógeno (Arauz, 1998), incubándose a 25 °C. Con las muestras purificadas se realizaron montajes para la observación de las estructuras del patógeno lo que permitió la caracterización del agente causal. Se inoculó suelo con las colonias puras cortando las muestras en secciones de 1 cm y posteriormente se sembró ajonjolí para comparar la aparición de síntomas.

Para la identificación de nematodos se utilizó el método de embudo de Baermann para suelo y raíces (Rosas-Hernández, 2014).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Síntomas y caracterización de la enfermedad

Basado en las muestras recolectadas, los síntomas se empezaron a visualizar desde los 28 días después de la siembra -DDS-, por su parte Rojas (1998) observó síntomas a partir de los 33 DDS. La coloración café rojiza en la base del tallo indica la pudrición de la misma, lo cual causa la marchitez y la muerte prematura, semejante a lo descrito por Rojas (2000). Se observó estrangulamiento del tallo y sistema radicular poco desarrollado como lo observado por Rojas (1998). La pudrición en el tallo progresó rápidamente y la coloración avanzó de la base del tallo hacia arriba. En algunas de las muestras recolectadas ya existía micelio visible en la base de los tallos.

Según los datos de las estaciones meteorológicas cercanas de INSIVUMEH (Retalhuleu y Champerico), las precipitaciones empezaron a ser más constantes y elevadas a finales de agosto y la temperatura incrementó en septiembre, lo que proporcionó las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad y los síntomas de la infección empezaron a ser visibles en ciertas áreas, dentro del terreno muestreado. Como lo indica Rojas (2000), cuando las condiciones ambientales de humedad y temperatura son altas, existen pérdidas mayores dentro de las plantaciones de ajonjolí.

En el parcelamiento Caballo Blanco, existían focos de infección únicamente en 4 surcos, donde anterior a la siembra, se colocaba material fermentado (alimento de ganado, ensilado) en tanto en el parcelamiento La Máquina, las plantas enfermas se encontraban dispersas. En esta área de cultivo se sembró tabaco en el ciclo anterior, asociado con el patógeno *Phytophthora parasítica* antes conocida como *P. nicotianae* (Doñas, 2014), demostrando que el suelo posee gran cantidad de inóculo.

3.2 Otros factores

3.2.1 Nematodos

Para descartar que los síntomas de la enfermedad sean provocados por nematodos, se identificaron los nematodos fitoparasíticos, encontrando en las muestras recolectadas los siguientes géneros: *Pratylenchus*, *Rotylenchulus*, y *Helicotylenchus*. Por los bajos niveles detectados y sintomatología observada se determina que no causan daños considerables en las áreas muestreadas. Según Fernández et al. (1992) y el INIAP (1996) la rotación o asocio con el cultivo de ajonjolí es mencionado como técnica efectiva del manejo integrado de nematodos.

En las raíces únicamente se encontraron nematodos de vida libre. Tanto en suelo como en raíz se presentó mayor densidad de nemátodos saprófitos comparado con fitoparasitos. Los géneros de nematodos fitoparasíticos encontrados en las muestras están relacionados con los cultivos anteriormente sembrados en cada localidad (maíz, tabaco, pasto y caña de azúcar) y por las arvenses existentes dentro del cultivo que actúan como hospederos.

3.2.2 Análisis de suelo

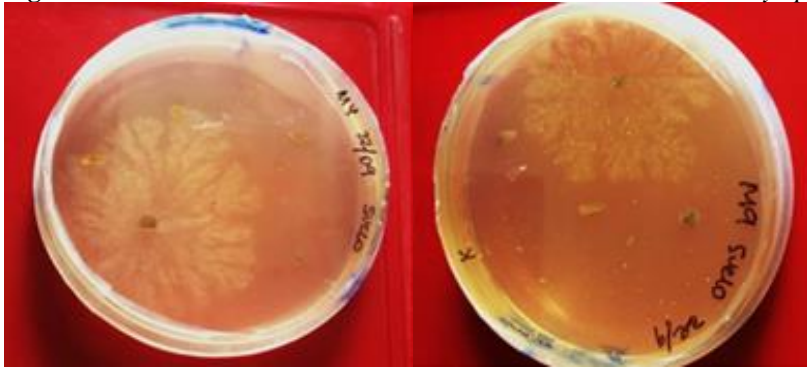
Según los resultados de los análisis de suelo, los macro y micro elementos, exceptuando el fósforo (P), se encuentran en niveles altos dentro de las localidades de muestreo. Serrano et al. (2011) encontraron que ciertos productos de calcio (Ca) y potasio (K) inhibieron la producción de esporangios y clamidosporas, reduciendo la cantidad de otras estructuras infectivas, por lo que la aplicación de los mismos es recomendada como tratamiento para el control de *Phytophthora cinnamomi*. En el caso del parcelamiento La Máquina, las condiciones de pH favorecieron el desarrollo de la enfermedad con similar resultado informado por Gallup et al. (2006)

3.3 Determinación del agente causal

3.3.1 Aislamiento del patógeno

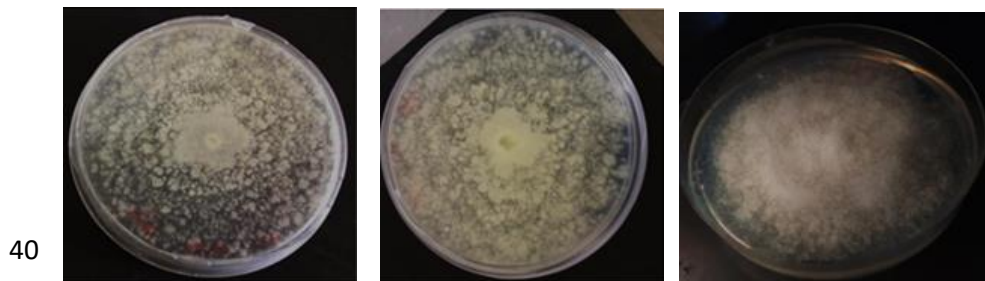
De las 30 muestras recolectadas y procesadas se obtuvieron 27 cepas de *Phytophthora* sp. En la figura 1 se observa el crecimiento micelial y los patrones de crecimiento del micelio que presentó *Phytophthora* sp. en los medios selectivos. De las muestras procesadas 27 dieron un resultado positivo identificándose la presencia de *Phytophthora* sp. Únicamente 3 muestras del parcelamiento La Máquina no mostraron presencia de *Phytophthora*.

Figura 1. Patrones de crecimiento de los aislamientos realizados de *Phytophthora* sp.



De las 27 cepas que se utilizaron para el posterior análisis, 24 fueron aislamientos realizados con el suelo infectado y 3 de las raíces de las muestras recolectadas. Esto es debido a que las estructuras reproductivas se encuentran abundantemente en el suelo y por esto se considera la principal fuente de inóculo como lo indica Rojas (1998).

Figura 2. Desarrollo y crecimiento de *Phytophthora* sp. (colonias puras).

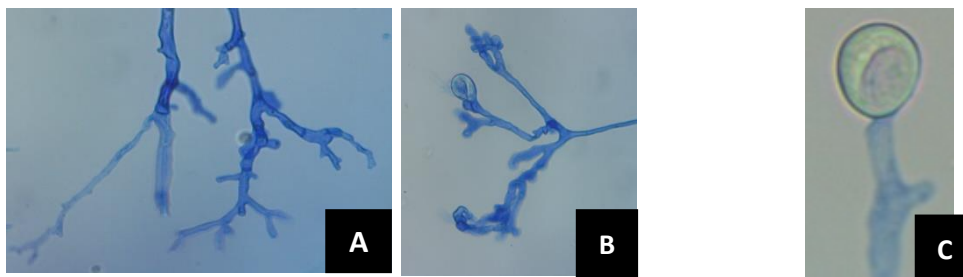


En la figura 2 se observa el crecimiento de *Phytophthora sp.* Según la especificación pictográfica hecha por Erwin y Ribeiro (1996), las colonias puras de *Phytophthora sp.* siguen patrón de crecimiento estolonífero; Colonias lanosas-esponjosas. Las colonias son densas. En algunas se distingue la forma de roseta y otras no poseen patrón de crecimiento según la clasificación de Erwin y Ribeiro, 1996.

3.3.2 Estructuras de *Phytophthora sp.*

El micelio es grueso, cenocítico (no septado) y presenta hifas ramificadas (Figura 3). Las zoosporas son las principales estructuras de *Phytophthora sp.* que infectan las raíces. Estas son ovaladas y achatadas en el centro (Figura 3B y 3C).

Figura 3. Micelio y Zoosporas de *Phytophthora sp.*



Las clamidosporas son esféricas y ovales. Poseen diámetro entre 22 – 30 μm . Se observó clamidosporas terminales o intercalares y normalmente las paredes son bastante gruesas. Los esporangios son ovoides no papilados, con el poro de salida amplia. Algunos esporangios poseen morfología limoniforme. Las oosporas son esféricas y el oogonio globoso. Poseen diámetro entre 20 μm – 26 μm .

3.3.3 Pruebas de patogenicidad en ajonjolí

De 27 de las muestras inoculadas se obtuvieron resultados positivos en 24 de ellas (al menos 5 plantas infectadas de 10 plantas sembradas) por lo que se confirma que la presencia de *Phytophthora sp.* es el agente causal de la enfermedad conocida como “pata negra” en ajonjolí, en las áreas de cultivo en donde se recolectaron las muestras.

Debido a la diferencia de las condiciones ambientales (especialmente temperatura) de la fase de laboratorio en comparación con la fase campo, la agresividad con la que el patógeno afectó fue menor. Sin embargo, los síntomas visibles que se presentaron son los mismos que los identificados en campo. Debido a estas diferencias, la infección se desarrolló a partir de los 20 días y el crecimiento de las plantas fue bajo. Los síntomas que se presentaron en esta fase son: Necrosamiento en la base del tallo, estrangulamiento inicial del tallo, poco desarrollo radicular, poco desarrollo foliar, marchitez en algunas de las plantas infectadas y bajo crecimiento.

4. CONCLUSIONES

La “pata negra” en el cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum*) es la enfermedad que se caracteriza por la coloración marrón.

El agente causal de la pata negra en el cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum*) es *Phytophthora sp.* El 90 % de las muestras procesadas dieron resultado positivo y presentaron a *Phytophthora sp.* como el agente causante de la enfermedad “pata negra”.

Se descarta que exista algún tipo de fisiopatía asociada a la enfermedad denominada pata negra en el departamento de Retalhuleu.

5. REFERENCIAS

- Almeida Rivero, A. 2015. Influencia de la distancia de siembra sobre las plagas y el rendimiento agrícola en ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). Tesis Ing. Agr. Santa Clara, Cuba, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera, Ingeniería Agrónoma. p. 13.
- Arauz Cavallini, L.F. 1998. Fitopatología un enfoque agroecológico. San José, Costa Rica, Editorial de la universidad de Costa Rica. p. 230-252.
- Céspedes, E.; Valda, S. 2009. Manual del cultivo de sésamo y fréjol. Santa Cruz de la Sierra, AgroExport & SNV/Diseño & Publicidad. p. 9-10.
- De León, R. 2014. Producción de ajonjolí en Guatemala (en línea). Consultado 19 mar. 2017. Disponible en <http://www.deguate.com/artman/publish/produccion-guatemala/produccion-de-ajonjolien-guatemala.shtml#.WJouLo-cHIU>
- Doñas Uclés, F. 2014. Búsqueda de resistencia a *Phytophthora capsici* y *Phytophthora parasitica* en cultivares comerciales de pimiento (en línea). España, Universidad de Almería, Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales. p. 16-17. Consultado 21 nov. 2017. Disponible en <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3230/Trabajo211.pdf?sequence=1>
- Erwin, D.; Ribeiro, O. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. US, American Phytopathological Society. 456 p.
- Fernández, E.; Púrez, A.; Lorenzo, E.; Vinent, E. 1992. Efectividad del uso del ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) como cultivo inter cosecha contra *Meloidogyne incognita*. Revista de Protección Vegetal 7(1):39-42.
- Gallup, C.A.; Sullivan, M.J.; Shew, H.D. 2006. Black shank of tobacco. The Plant Health Instructor. Consultado 27 nov. 2017. Disponible en

- <https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Oomycetes/Pages/BlackShank.aspx>
- Herrera, I.; Hérnan, L. 2012. Evaluación de la esporulación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *sesami* en dos medios de cultivo y dos metodologías de inoculación en ajonjolí (*Sesamum indicum*) (en línea). Revista Científica UDO Agrícola 12(3):639-643. Consultado 18 mar. 2017. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4689960>
- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador). 1996. Manual del cultivo de soya (en línea). Ecuador, INIAP, Estación Experimental Boliche. 111 p. Manual no. 32. Consultado 9 nov. 2017. Disponible en <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2076/1/iniaplsm32.pdf>
- Rivas Figueredo, E.; De Armas Vargas, Y.; Elías Barreto, R.R.; Alonso Hernández, L.; Ramírez Medina, M.V.; Drake Espinosa, L.; Medina Salas, R. 2008. El diagnóstico y su papel en la fitoprotección. La Habana, Cuba, Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal de Matanzas, Temas de Ciencia y Tecnología 12(35):47-54. Disponible en http://www.utm.mx/edi_antiores/temas035/3%20nota-35.pdf
- Rojas Cáceres, L.J. 1998. Epidemiología de la pata negra y sus efectos en la producción de ajonjolí *Sesamum indicum* L. Tesis Ing. Agr. León, Nicaragua, Universidad Nacional Agraria, Facultad de Desarrollo Rural. p. 2-4, 21-25. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/731/1/tnh20r741.pdf>
- Rojas Mairena, K.M. 2000. Determinación de los agentes causales de la pata negra en ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua, Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. p. 3-8, 17-19. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/1776/1/tnh20r741d.pdf>
- Rosas-Hernández, L. 2014. Métodos de extracción de nematodos fitopatógenos. Revista Mexicana de Fitopatología 32 supl.1: S32-S33. Disponible en

https://www.smf.org.mx/rmf/suplemento/docs/Volumen322014/Taller/TALLER_NEMATODOS_ROSASHERNANDEZ.pdf

Serrano, M.S.; De Vita, P.; Fernández-Rebollo, P.; Sánchez, M.E. 2011. Control de la podredumbre radical de encinas mediante fertilizantes inorgánicos II: efecto in vitro del Ca y el K en la capacidad infectiva de *Phytophthora cinnamomi* (en línea). España. Bol. San. Veg. Plagas 37:111-117. Consultado 15 nov. 2017. Disponible en http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Plagas/BSVP_

6. AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Diagnóstico Parasitológico de la Facultad de Agronomía -FAUSAC- de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC- por el apoyo en la ejecución de los análisis de este estudio.



El cálculo de diversidad biológica. Parte I: Diversidad biológica alfa

José Vicente Martínez Arévalo¹

Recibido el 26 de agosto de 2022.

Aprobado el 13 de septiembre de 2022.

¹ Ingeniero Agrónomo, Doctor, Profesor Titular, Subárea de Ciencias Biológicas, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos josevicm2000@gmail.com

RESUMEN

El cálculo de la diversidad biológica es atractivo en biología y ecología pues a partir de cifras que proporcionan los índices, se puede dar una interpretación de características de una comunidad biótica. Esta revisión se concentra en la diversidad alfa. Hay muchos índices que se han desarrollado para medir la diversidad, pero es importante reconocer las características que tienen y en qué situaciones se pueden utilizar. Con base en la vasta información que se ha generado sobre el cálculo de diversidad biológica alfa, se elaboró este documento de revisión que resume mucha de la información existente, varias de estas citas son históricas, y a partir de esto se hizo un análisis sobre el uso, y a veces de los malos usos, que se hace de algunos índices, además de mostrar la forma en que actualmente se propone hacer el cálculo y su interpretación. Se hace un llamado a utilizar el cálculo de la verdadera biodiversidad que contribuya a una mejor interpretación de los resultados obtenidos.

Palabras clave:

Diversidad alfa, índice de Simpson, índice de Shannon, número efectivo de especies.

ABSTRACT

The calculation of biological diversity is attractive in biology and ecology, because from the figures provided by the indices, an interpretation of the characteristics of a biotic community can be given. This review concentrates on alpha diversity. There are many indices that have been developed to measure diversity, but it is important to recognize their characteristics and in which situations they can be used. Based on the vast information that has been generated on the calculation of alpha biological diversity, this review document summarizes much of the existing information, several of these citations are historical, and from this an analysis was made on the use and sometimes misuse of some indices, in addition to showing the way in which the calculation is currently proposed and its interpretation. A call is made to use the calculation of the true biodiversity that contributes to a better interpretation of the results obtained.

Key Word:

Alpha diversity, Simpson index, Shannon index, effective number of species.

1. INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica o biodiversidad (Magurran, 1988, p. 6; Hamilton, 2005) es un concepto central de la ecología que siempre se mantiene en actualidad. Desde 1992 el Convenio sobre la Diversidad Biológica propuesto como uno de los acuerdos de la Reunión de Río de ese año (Naciones Unidas, 1992) ha permitido un mayor compromiso de los países miembros o partes de este convenio. A pesar de los esfuerzos realizados, los indicadores que miden la conservación y mantenimiento de la biodiversidad continúan presentando escenarios negativos en cuanto la pérdida de especies y el deterioro de los ecosistemas (World Wildlife Fund, 2020). Ahora es necesario la implementación de un marco mundial de la diversidad biológica posterior a 2020 que contenga estrategias más efectivas para frenar la pérdida de biodiversidad (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021). En este ámbito, el medir la diversidad biológica en términos comprensibles con la naturaleza, es imprescindible para el futuro.

Uno de los aspectos interesantes que la biología y la ecología manejan es la medición de esa diversidad biológica. Generalmente nos gusta ver cifras o índices que ayuden a comprender, de forma sencilla, cómo se expresa la biodiversidad. Esto es un aspecto complejo pues se tiene que buscar la mejor forma mediante la construcción de funciones matemáticas para representar fenómenos biológicos (Magurran, 1988). Los índices de biodiversidad miden riqueza, abundancia y equitatividad (equitatividad), en inglés (evenness o equitability) de las especies (Jost y González-Ojeda, 2012). Así Llopis-Belenguer, Blasco-Costa y Balbuena (2018), lo explican de la siguiente manera, "... la riqueza de especies indica el número de especies presentes, la abundancia cuantifica el número de individuos de cada especie y, por último, la equitatividad relaciona la riqueza y la abundancia, de forma que establece el grado en el que los individuos se reparten entre las especies contadas en la muestra". Los índices son herramientas esenciales para el monitoreo (por ejemplo, disponibilidad de servicios ecosistémicos) y la conservación ecológica (como en el caso de las áreas protegidas), así como para cualquier esfuerzo por estudiar y abordar la biodiversidad especialmente en los años actuales de crisis de la biodiversidad (Morris, et al., 2014).

En este artículo de revisión se pretende hacer un recuento histórico de cómo se ha medido la biodiversidad alfa, las formas más utilizadas para medirla, sus ventajas y desventajas y las propuestas actuales para mejorar el cálculo y la interpretación. Al respecto, hay bastante información sobre los métodos para calcular biodiversidad, pero generalmente su uso se hace de manera mecánica, lo que no permite hacer un análisis crítico de los casos particulares que se estudian. Hace falta contar con información sintetizada que contenga una discusión crítica sobre el tema.

2. DESARROLLO

La medición de la biodiversidad puede hacerse a distintos niveles: genético, especies, comunidades (ecosistemas); la presente revisión va dirigida a nivel de especie y comunidad.

Al consultar información de dónde se inició la medición de la biodiversidad, se encuentra literatura de la primera mitad del siglo XX que cita autores como Jaccard (1908) en un estudio de vegetación donde propone el uso de un índice para comparar comunidades vegetales. Fisher, Corbet y Williams (1943) proponen cómo medir la relación que hay entre el número de especies y el número de individuos en poblaciones animales, parámetro que hoy en día se utiliza en algunos análisis de biodiversidad para medir la rareza de especies.

En 1946, Simpson plantea un índice que permite medir la diversidad alfa considerando el uso de las proporciones de especies y además hace anotaciones sobre el uso de lo que ahora se conoce como la fórmula del índice de Simpson corregida para muestras pequeñas. El índice de Shannon (Somarriba, 1999) o Shannon y Wiener, uno de los más utilizados, fue desarrollado a partir de la teoría de la información (Shannon y Weaver, 1949), que es una medida de la entropía y que se basa en la incertidumbre de que una muestra tomada al azar pertenezca o no a una especie dominante.

Se podrían seguir dando ejemplos, sin embargo, con las citas anteriores, se pretende demostrar que las bases para medir la biodiversidad alfa tienen bastante tiempo de haberse planteado. Sin embargo, fue Whittaker (1960) quien propone ordenar esto en niveles y lo hace a partir de los resultados del estudio de la vegetación de las montañas Siskiyou de Oregón y California en Estados Unidos. Es importantes incluir de manera resumida algunos criterios mencionados en ese artículo pues ayudan a comprender el espíritu con que fueron creados los conceptos de niveles de cálculo de la biodiversidad. En ese estudio se notó diferencias de diversidad desde los ambientes marítimo-costeros hacia tierras internas y las montañas. Con esto Whittaker propone que esa diversidad puede distinguirse en tres niveles: a) la diversidad primaria o alfa que es la riqueza en especies de una muestra o comunidad en particular; b) la diversidad secundaria o beta que es el cambio de composición de especies entre una comunidad y otra o el grado de diferenciación de comunidades en relación a la complejidad de un gradiente ambiental y c) la diversidad terciaria o gamma que está referida a la diversidad de especies de un número de muestras o comunidades para un rango ambiental y que es el resultado de la diversidad alfa y beta de estas comunidades.

Agrega Whittaker que las mismas medidas son aplicables al cálculo de la diversidad alfa y gama, pero la diversidad beta tiene procedimientos diferentes en su cálculo.

Desde entonces las medidas de diversidad biológica se han nombrado siguiendo la propuesta de Whittaker y se han desarrollado varios índices para su cálculo y medición. Cabe pues a continuación desarrollar el tema de cada uno de estos índices haciendo énfasis en diversidad alfa, la diversidad beta será tratada en la segunda parte de este artículo.

A lo largo de los años se ha definido una serie de índices para estimar los tres tipos de diversidad, la situación es cuál escoger y principalmente cuál es su interpretación. Hay diferentes artículos que tratan sobre estos temas (Magurran, 1988) y por lo tanto en este caso lo que se pretende es hacer un análisis crítico de los principales índices para medir la biodiversidad alfa y su interpretación.

En primer lugar, es importante indicar cuáles son las principales fuentes de datos que se toman en consideración para realizar los cálculos de biodiversidad. En su mayoría, los ecólogos realizan muestreo del área de estudio con base en el objetivo que se proponen, con esto se difiere en el número, la forma y la disposición de las unidades muestrales entre uno y otro estudio. En pocas ocasiones, en el diseño del muestreo se toman en cuenta restricciones estadísticas, como el número de muestras, el error de muestreo permitido, etc. De aquí que esto debe considerarse al medir la biodiversidad. En las unidades de muestreo se registra información del recuento de especies y de individuos por cada una, cobertura, frecuencia, área basal en el caso de árboles y otras medidas, todas ellas constituyen medidas llamadas aparentes como fue definido por Peterson (1948), cada una de estas puede servir para hacer el cálculo de la biodiversidad, pero las más utilizadas son el número de especies (abundancia o densidad) y la biomasa (cobertura o peso seco). Cuando se mide la biodiversidad, se hace referencia a biodiversidad específica que considera la riqueza de especies y la equitatividad.

En el caso de la diversidad alfa se mide en cada unidad de muestreo, que se considera como un hábitat. Si se hace un muestreo de un área donde se ubiquen varias unidades de muestreo, entonces se tienen varias medidas de diversidad alfa de acuerdo con el número de unidades muestrales que se tengan del área de estudio. La forma más sencilla de cuantificar la diversidad es por medio de la riqueza de especies. Pero la riqueza por sí sola no explica la biodiversidad en su totalidad, y puede ser que no llene las expectativas para tomar decisiones de la conservación o bien que reflejen los peligros de extinción de las especies, por eso se recurre a índices que procuren contribuir con la explicación de esto, donde se cuantifica el número de especies y su representatividad. En ese sentido Moreno (2001) expone varios índices que los clasifica en dos grandes grupos: riqueza específica y estructura. En los de riqueza específica se incluyen a) los índices: Riqueza de especies, Margalef, Menhinick y Alfa de Williams; b) Rarefacción; c) Funciones de

acumulación (Logarítmica, Exponencial y De Clench); y d) métodos no paramétricos (Chao 2, Jacknife de 1er. Orden, Jacknife de 2do. Orden y Bootstrap). En los métodos de estructura se incluyen: Modelos no paramétricos (Chao 1 y Estadístico Q) y los índices de abundancia proporcional, estos se subdividen en: a) Índices de dominancia (Simpson, Serie de Hill, Berger-Parker, McInnoch); b) Índices de equidad (Shannon-Wiener, Pielou, Brillouin, Bulla, Equidad de Hill, Alatalo, Molinari). De estos los más utilizados son el índice de dominancia de Simpson y el índice de equidad de Shannon-Wiener (en el cálculo el índice de Pielou y Equidad de Hill son parte de la descomposición del índice de Shannon-Wiener) (Smith, & Grassle, 1977), asociados a estos se pueden generar los números efectivos de especies a partir de la Serie de Hill. Es así que en esta revisión se procura profundizar en los índices de Simpson y Shannon-Wiener, y luego demostrar el valor del número efectivo de especies en la cuantificación de la biodiversidad.

El índice de Simpson fue propuesto por Simpson (1949), es un índice de dominancia, mide la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra pertenezcan a una misma especie (Briceño, 2020) y para esto se utiliza la siguiente formula:

$$\lambda = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Donde λ es el índice de Simpson

$$p_i = n_i/N$$

n_i = valor de la especie n_i

N = valor total de todas las especies de la muestra

S = Número de especies

El rango del índice de Simpson (λ) va de 0 a 1, así:

- Cuanto más se acerca el valor de λ a 1, menor es la diversidad del hábitat.
- Cuanto más se acerca el valor de λ a 0, mayor es la diversidad del hábitat.

Esto tiende a confundir pues la interpretación no es sencilla porque no es de una manera intuitiva y podría generar confusión.

Por lo que se acostumbra a expresar este índice en lo que se llama índice de Gini-Simpson que se obtiene de restar el valor de λ a 1, quedando de la siguiente manera:

$$\text{Gini-Simpson} = 1 - \lambda = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

En este caso, el valor del índice de Gini-Simpson también oscila entre 0 y 1, pero ahora, la interpretación es que cuando mayor es el valor, mayor es la diversidad de la muestra. Esto tiene más sentido y es más sencillo de entender.

En este caso, el índice de Gini-Simpson representa la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente de una muestra pertenezcan a diferentes especies.

La interpretación de λ como la probabilidad de que dos individuos de una misma muestra tomadas al azar pertenezcan a la misma especie, supone que el primer individuo se reemplaza en el conjunto de datos antes de tomar el segundo individuo.

Si el conjunto de datos es muy grande, el muestreo con reemplazo o sin reemplazo da aproximadamente el mismo resultado, pero en conjuntos de datos pequeños, la diferencia puede ser sustancial.

Si el conjunto de datos es pequeño y se asume un muestreo sin reemplazo, entonces la probabilidad de obtener la misma especie con ambos sorteos aleatorios es:

$$\ell = \frac{\sum ni(ni-1)}{N(N-1)}$$

Donde ℓ = índice de Simpson corregido

Con esta fórmula se considera que se está corrigiendo el efecto de la falta de reemplazo en muestras pequeñas. Los valores van de 0 a 1 y se interpreta de la misma forma que el índice de Gini-Simpson.

El índice de Shannon es uno de los índices más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica, también conocido como Shannon-Wiener a veces denominado Shannon-Weaver. Daniel (1998) hace un análisis del porqué del uso de esos nombres y concluye que el más adecuado es el primero pues estos dos investigadores desarrollaron la función H (índice H); al respecto Spellerberg & Fedor (2003) indican que la confusión se produce porque muchos autores al citar este índice parten de la publicación de Shannon & Weaver (1949), sin embargo el matemático Norber Wiener fue quien contribuyó al desarrollo de la función H, en sus bases filosóficas y teorías básicas, varios años antes, hecho que queda demostrado en las múltiples citas y agradecimiento que Shannon hace a Wiener en Shannon (1948) y Shannon & Weaver (1949) que versan sobre la teoría matemática de la comunicación. Adicionalmente se puede indicar que mucha de la confusión es por el parecido de los apellidos.

Este índice es derivado de la teoría de información como una medida de la entropía (Shannon & Weaver, 1949). Shannon utilizó para esto la fórmula de la entropía desarrollada por Boltzmann a finales del siglo XIX. El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Pla, 2006). Mide la incertidumbre y se interpreta como la probabilidad de escoger dos individuos al azar que pertenezcan o no a una misma especie, si pertenecen a una misma especie la incertidumbre es baja y eso significa que la biodiversidad es baja, pero si se toman dos individuos y no pertenecen a la misma especie

entonces la incertidumbre es alta y por lo tanto la diversidad es alta, según explica Somarriba (1999).

El valor del índice está entre 0 a 5, pero de acuerdo con Somarriba (1999), quien cita a Magurran (1988), que indica que la mayoría de estudios donde se ha utilizado muestra valores entre 1.5 a 3.5 y raramente 4.5 y agrega que es muy sensible a bajas riquezas. Aunque de manera general, se puede indicar que el valor del índice va de 0 cuando hay una sola especie a $\ln S$, donde S es el número de especies, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).

La fórmula del índice de Shannon es

$$H = - \sum_i^S p_i * \ln p_i$$

En el uso de logaritmos, la fórmula original es usando la base 2, pero se puede usar además base 10 o base $e = 2,71828\dots$ (natural), cualquiera de los tres produce resultados consistentes, lo importante es utilizar la misma base de logaritmos para hacer comparaciones. Las principales ventajas del uso de este índice es que presenta una normalidad en datos obtenidos de una misma área y a través del tiempo, en un mismo valor se obtiene información de la riqueza y equitatividad de la muestra. En el caso de esta revisión la fórmula se presenta con el uso de \ln , en cuyo caso se dice que las unidades son nats (Jost y González-Ojeda, 2012).

A partir del índice de Shannon-Wiener puede calcularse la equitatividad (equidad o equitabilidad), también llamada índice de equidad de Pielou (J')

Primero se calcula $H'_{\max} = \ln(S)$

De donde:

$$J' = H / H'_{\max}$$

Este índice mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada ($\ln S$). Su valor va de 0 a 1, donde 1 corresponde a situaciones cuando todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988).

Con el correr del tiempo y el uso de los índices de diversidad tradicionales, los ecólogos se han dado cuenta que las aplicaciones matemáticas utilizadas no siempre son las correctas para realizar inferencias sobre los cambios en la diversidad biológica, o bien de la importancia relativa de biodiversidad dentro y entre los grupos donde se aplican. Por

ejemplo, el índice de Shannon-Wiener es una medida de la entropía que está presente en un sistema, o de la incertidumbre asociada con el resultado de un proceso, por ello este índice es una medida razonable de la complejidad biológica, pero no es la diversidad como tal (Jost y González-Ojeda, 2012). “El valor numérico del índice de Shannon mide la incertidumbre en la identidad de las especies que componen una comunidad, pero no responde de modo lineal a la noción intuitiva de diversidad de un sistema” (Jost y González-Ojeda, 2012).

El problema de interpretar la diversidad a partir de índices ya había sido señalado por Hill (1973), sin embargo, no se le otorgó la importancia necesaria en su momento, pero autores como Moreno (2001) y Jost (2006) han realizado una ardua tarea por mostrar y demostrar la importancia del uso de número efectivo de especies.

En 1973, Hill propuso que la diversidad puede fraccionarse de tal forma que pueda ser una medida proporcional al área estudiada, es decir lineal, lo cual no sucede con los resultados de los índices tradicionales, por ejemplo, los más utilizados como el de Simpson y Shannon-Wiener, sin embargo, a partir de los cálculos de esos índices se pueden obtener el número efectivo de especies. La verdadera diversidad, o el número efectivo de especies, se refiere al número de tipos igualmente abundantes necesarios para que la abundancia proporcional promedio de las especies sea igual a la observada en el conjunto de datos de interés (donde todas las especies pueden no ser igualmente abundantes) (Hill, 1973).

Varios autores como Hill, 1973; Jost, 2006, 2010) realizan la demostración matemática de cómo derivar a partir del índice de Simpson y Shannon-Wiener, el número efectivo de especies, por lo tanto, en esta revisión únicamente se anota la conversión y su interpretación. En palabras de Pereyra y Moreno (2013) es una forma renovada y fresca de calcular la diversidad, donde el número efectivo de especies puede comprenderse como el número de especies de una comunidad virtual perfectamente balanceada, en la cual se conserva la abundancia relativa promedio de las especies de la comunidad real (Jost, 2006, 2007).

Jost (2012) presenta el algoritmo general que permite convertir valores de entropía en valores de diversidad, utilizando la siguiente fórmula:

$${}^qD = \sum (p_i^q)^{1/(1-q)}$$

Los resultados de esta expresión, con distintos valores de q (por ejemplo: q = 0, 1, 2), son los números de Hill (Moreno, 2001).

En particular, $q = 0$ corresponde a la media armónica ponderada, $q = 1$ a la media geométrica ponderada y $q = 2$ a la media aritmética ponderada de los valores de abundancia relativa de las especies de la comunidad.

La conversión a partir de los índices tradicionales de diversidad es

N_0 = número total de especies o riqueza de especies (S); $\sum_{i=1}^S p_i^0$

N_1 = número de especies abundantes $\equiv e^{H'}$

N_2 = número de especies muy abundantes $\equiv 1/\lambda$

Donde: p_i es la proporción de cada especie; H' es el índice de Shannon-Weiner y λ el índice de Simpson.

La conversión de índices clásicos a números efectivos de especies les otorga a los resultados propiedades matemáticas y comportamientos ecológicos comunes. La conversión de éstos al número efectivo de especies es la clave para una interpretación unificada e intuitiva de la diversidad (Jost, 2006). La diversidad en número efectivo de especies siempre se mide en unidades de número de especies, lo que permite una fácil comparación e interpretación. Con esto se evita las malas interpretaciones generadas por la no linealidad de la mayoría de los índices de diversidad. Al unificar varios índices de esta manera, se mejora nuestra comprensión e interpretación de la medida de la diversidad (Daly, Baetens, & Baets, 2018).

Para poner en términos prácticos lo anterior Moreno, Barragán, Pineda y Pavón (2011), realizan el cálculo de número efectivo de especies del orden 0, 1 y 2 a partir del resultado de cuatro artículos científicos con diferentes organismos donde se había calculado la biodiversidad con índices, especialmente el de Shannon-Wiener, logrando demostrar que con el uso del número efectivo de especies es más sencillo tomar decisiones de manejo y conservación de biodiversidad.

3. DISCUSIÓN

El cálculo de diversidad biológica o biodiversidad, es un proceso complejo que no debe considerarse como algo mecánico, pues los índices que se obtienen son cuantificaciones que sirven para tomar decisiones para la conservación, reconocer el estado de la biodiversidad y tomar acciones para recuperación y manejo (Magurran, 1988). En esta primera parte de la revisión se hizo hincapié en la diversidad alfa ya que es una de las más utilizadas en muchos estudios. Su cálculo se ha realizado desde hace muchos años de distintas formas, una de ellas, la más sencilla ha sido la riqueza de especies (Jost y González-Ojeda, 2012; Llopis-Belenguer, Blasco-Costa y Balbuena, 2018). Sin embargo, se prefiere actualmente el uso de índices que muestren de mejor manera la riqueza, composición y equitatividad de la diversidad (Moreno, 2001, Maurer, & McGill, 2011), hay bastantes de ellos, para que el investigador seleccione el o los que le convengan para su estudio. Pero en esa escogencia muchas veces se pasan por alto criterios como el objetivo del estudio y la interpretación que se espera dar, por lo que se usan de una manera mecánica. Los resultados de índices de biodiversidad se han concentrado en el uso de dos principales, Simpson y Shannon (Morris et al., 2014), uno basado en probabilidades y el otro en el grado de incertidumbre, el primero llamado de dominancia por la influencia que tienen las especies que predominan en cantidad de individuos en su cálculo, la segunda procura hacer un balance entre el número de especies y su abundancia. Estas características de estos índices pocas veces se consideran previamente en la selección, ni para la interpretación de los resultados. La situación con los índices que miden la diversidad, es que en realidad no miden la biodiversidad como tal (Jost & González-Ojeda, 2012), sino que son una medida de algo como la probabilidad o la entropía, por lo que es importante tener medidas que respondan a la realidad biológica de los datos (Hill, 1973). Vásquez-Restrepo (s.f.) muestra que al graficar los datos de los índices ya sea de Simpson o Shannon-Wiener con el número de especies se obtienen curvas que aumentan su valor rápidamente con valores bajos de número de especies y luego el cambio es muy lento con valores altos de especies. De tal forma que si se ve dos muestras una con un valor de 2.15 y otra de 3.15 de valor de índice de Shannon-Wiener, hay una unidad matemática de distancia, pero no están comparando en realidad en cuánto está aumentando la biodiversidad de un valor a otro, sino que está midiendo la incertidumbre, es decir para el segundo valor la incertidumbre de escoger dos individuos que pertenezcan a la misma especie es mayor que para el primer valor, de tal forma que la interpretación es que a mayor incertidumbre mayor diversidad. Pero lo que se necesitaría saber es cuánto más diversa es una de la otra. Por razones como estas, es necesario tener valores que sean lineales y que representen la verdadera biodiversidad (Moreno, Barragán, Pineda y Pavón, 2011). Por esto se plantea el uso del número efectivo de especies (Jost, 2018) que sí tiene una interpretación biológica más adecuada. Por ejemplo, para los valores indicados anteriormente del índice de Shannon-Weiner, se tendría 8.58 y 23.33 especies, que está indicando que en la primera muestra se tiene 8.58 abundantes y en la segunda

23.33, lo cual es una clara diferencia de la estructura de cada una. Es por ello que se aboga por que se haga uso de los índices de Simpson y Shannon-Weiner como un puente para el cálculo del número efectivo de especies donde con N_0 se va tener la riqueza, con N_1 las especies abundantes y con N_2 las especies muy abundantes o dicho de otra forma las más dominantes (Jost, 2007). De esta forma el cálculo de diversidad alfa está arrojando importante información que puede servir para la conservación y manejo de la biodiversidad, que contribuya a crear mejores escenarios reales dentro de la iniciativa de biodiversidad posterior a 2020.

4. REFERENCIAS

- Briceño, K. (23 de octubre de 2020). Índice de Simpson: Fórmula, Interpretación y Ejemplo. Liferder. <https://www.liferder.com/índice-simpson/>
- Daly, A. J., Baetens, J. M., & De Baets, B. (2018). Ecological diversity: measuring the unmeasurable. *Mathematics*, 6 (119). doi:10.3390/math6070119
- Daniel, O. (22-28 de noviembre de 1998). Subsidios al uso del índice de diversidad de Shannon. En: Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Tema 3, CD-ROM. CONAF-IUFRO, Valdivia-Chile
- Fisher, R. A., Corbet, A. S., & Williams, C. B. (1943). The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Jour. Anim. Ecol.* 12, 42-58
- Hamilton, A. J. (2005). Species diversity or biodiversity? *Journal of Environmental Management*, 75, 89-92
- Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54(2), 2 427-432
- Jaccard, P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull. Soc. Vaudoise Sci. Nat.* 44, 223-270.
- Jost, L. (2006) Entropy and diversity. *Oikos* 113, 363-375.
- Jost, L. (2007) Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology* 88, 242-2439.
- Jost, L. y González-Oreja, J.A. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana* 56 (1-2), 3-14
- Jost, L. (2018). ¿Qué entendemos por biodiversidad? El camino hacia la cuantificación. *Mètode Science Studies Journal*, 98, 39-45. DOI: 10.7203/metode.9.11472
- Llopis-Belenguer, C., Blasco-Costa, I. y Balbuena, J. A. (2018). Más allá del recuento de especies, una nueva manera de enfocar la biodiversidad. *Mètode Science Studies Journal*, 98, 47-51 DOI: 10.7203/metode.9.11186
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press

- Maurer, B. A., & McGill, B. J. (2011). Measurement of species diversity. In: A. E. Magurran & B. J. McGill. *Biological Diversity: Frontiers in measurement and assessment* (pp. 55-65) New York: Oxford University Press.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza: M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E. y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1249-1261
- Morris, E. K., Caruso, T. Buscot, F., Fischer, M., Hancock, Ch., Maier, T. S., Meiners, T., Müller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S. A., Sonnemann, I., Wäschke, N., Wubet, T., Wurst, S., & Rillig, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the german biodiversity exploratories, *Ecology and Evolution*, 4(18), 3514-3524 doi: 10.1002/ece3.1155
- Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre la diversidad biológica*. New York: Autor. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021). *Primer proyecto del marco mundial de la diversidad biológica posterior a 2020*. Montreal: Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590
- Pereyra, L. C. y Moreno, C. (2013). Divide y vencerás: revisión de métodos para la partición de la diversidad regional de especies en sus componentes alfa y beta. *Revista Chilena de Historia Natural* 86, 231-239
- Peterson F. W. (1948). The communness, and rarity, of species. *Ecology*, 29(3), 254-283
- Vásquez-Restrepo, J. D. (s.f.) *Análisis de diversidad: Diversidad α Parte I: Fundamentos teóricos*. <https://vr-daniel.github.io/Diversidad-en-R/U1P1.html>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, 623–656.

- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. Illinois, USA: University of Illinois Press.
- Somarriba, E. (1999). Índice de Shannon. *Agroforestería en las Américas*, 6(23), 72-74.
- Smith, W., & Grassle, J. 1977. Sampling properties of a family of diversity measures. *Biometrics* 33, 283-292.
- Spellerberg, I. F. & Fedor, P. J. (2003). A tribute to Claude Shannon (1916–2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the ‘Shannon–Wiener’ Index. *Global Ecology & Biogeography*, 12, 177–179
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 163, 688.
- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379–423.
- Shannon C.E., & Weaver W. (1949) The mathematical theory of communication. Urbana, Illinois, EEUU: University of Illinois Press.
- Whittaker, R. H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30, 279-338
- World Wildlife Fund (2020) Living Planet Report 2020. Bending the curve of biodiversity loss. R. E. A., Almond, M. Grooten, & T. Petersen (Eds.). WWF: Gland, Switzerland.



RESUMEN DE TESIS DE GRADO

Evaluación de dos programas de fertilización en el cultivo de mora (*Rubus spp.*), en la finca El Porvenir, municipio de Barberena, departamento de Santa Rosa, empresa Yara, Guatemala, C.A.

Ileana Verónica Rabanales Orellana¹

RESUMEN

Se establecieron dos parcelas comparativas de mora (*Rubus fruticosus var. Tupy*) donde se aplicaron dos planes de fertilización. Las parcelas se instalaron en un sector de la plantación de la finca El Porvenir localizada en Barberena, Santa Rosa. La muestra estuvo constituida por 12 surcos y 5 plantas por surco, donde los surcos fungieron como unidades experimentales.

Las variables de respuesta analizadas fueron el rendimiento en peso por unidad de área y parámetros de calidad del fruto como peso, longitud y contenido de sólidos solubles totales. Los datos se analizaron mediante contraste de hipótesis utilizando la prueba t de Student para muestras independientes con varianzas iguales y nivel de significancia de 5 %, según los algoritmos del programa estadístico InsfoStat® versión 2020E.

El análisis de la dinámica de producción de mora mostró que el ciclo de cosecha dura 47 días y se registra en los meses de enero a febrero. Los rendimientos en peso por unidad de área obtenidos con los planes de fertilización tradicional y el alternativo son significativamente distintos, siendo el plan de fertilización alternativo el que alcanzó el promedio más alto correspondiente a 8,534.75 kg/ha, equivalente a 1.71 kg/planta. La mayor relación beneficio costo fue de Q. 5.52 y se alcanzó con la aplicación del plan de fertilización alternativo, siendo este un indicador de factibilidad económica para su implementación en el cultivo de mora de la finca El Porvenir.

Finalmente, es imprescindible profundizar en el tema de la aplicación fraccionada de los requerimientos nutricionales del cultivo de mora y profundizar en el estudio de la potencial relación entre la vida de anaque del fruto de mora y la fertilización aplicada al cultivo.

¹ Aceptado 04/02/2022

Efecto de luz y dos sustratos en la germinación de caoba del sur (*Swietenia humilis* Zucc.) y comportamiento de la germinación de cuatro procedencias -INAB-Guatemala, C.A.

Madelyn Jessenia Soto Juárez¹

RESUMEN

En el Departamento de Certificaciones de Fuentes y Semillas Forestales (DCF&SF) del INAB, se hace necesario conocer el tipo de sustrato en el cual se alcance el más alto porcentaje de germinación de la especie de caoba del sur (*Swietenia humilis*), ya que muchas de las empresas que se dedican a exportar o vender semillas necesitan un certificado de germinación para tener un aval que garantice al usuario este porcentaje de germinación.

Cada vez aumenta la demanda a nivel internacional por maderas preciosas de alto valor económico. Se hace una explotación irracional de bosques naturales, un caso específico es la caoba del sur (*Swietenia humilis* Zucc.) en Guatemala, por lo tanto, se hace más difícil encontrar poblaciones en su entorno natural, lo que hace que la recolección de semillas para su almacenamiento se dificulte, ya que la viabilidad de las semillas de esta especie es de 60 % a 80 % recién colectadas y a medida que pasa el tiempo baja su porcentaje de germinación, se reduce a 35 %.

La especie *Swietenia humilis* se encuentran en la lista roja de especies amenazadas de la UICN en la categoría de especie con vulnerabilidad (VU), también se encuentra en el listado de CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) en el ANEXO II, por ello esta especie en el país tiene alto riesgo de extinción. Existen muy pocos especímenes, por la disminución y ocupación del área de su hábitat, el número de los individuos no alcanzan la fructificación adecuada para poder recolectar semillas. Por otra parte, en el diagnóstico realizado se encontró una dificultad existente en las pruebas de germinación de semillas que se realizan en el laboratorio, en la cual no se tiene evidencia experimental que fundamente el sustrato que se utiliza en esta prueba, ni se conoce si la luz tiene efecto en la germinación de las semillas.

Con el fin de incrementar los conocimientos acerca de los efectos de la luz y de los sustratos sobre la germinación, se realizó la investigación titulada “evaluación del efecto

¹ Aceptado 08/02/2022

de luz y dos sustratos en la germinación de caoba del sur (*Swietenia humilis* zucc.) y comportamiento de la germinación de cuatro procedencias” en el cual se utilizó semillas almacenadas en el cuarto frío del INAB. La investigación se realizó en el laboratorio de Semillas Forestales BANSEFOR. Las procedencias de la especie *Swietenia humilis* Zucc. que se evaluaron fueron cuatro (Huehuetenango, Suchitepéquez, Escuintla y Chiquimula)

Los métodos convencionales para la evaluación de los resultados de germinación de la semilla evaluada muestra características de no germinar en condiciones de mayor exposición a luz, en cambio hacerlo en obscuridad y con un buen sustrato se hace mayor el porcentaje de germinación en laboratorios.

Caracterización de las poblaciones de guayabillo (*Platanus mexicana* moric variedad *Mexicana*) presentes en los bosques de galería de la subcuenca del río Xaclbal, municipio de Chajul y Nebaj, departamento de Quiché, Guatemala, C.A.

José Miguel Ortiz Urbina¹

RESUMEN

En Guatemala los dos sistemas montañosos con más diversidad de ecosistemas y de especies endémicas, además de influencia en otros sistemas orográficos vecinos, son los siguientes: a) Sistema montañoso de los Cuchumatanes, que incluye Huehuetenango y Quiché; y b) Sistema montañoso de la Sierra de las Minas, que incluye los departamentos de El Progreso, Zacapa, Alta Verapaz e Izabal. (CONAP 2008)

El presente estudio se realizó en la subcuenca del río Xaclbal, localizada en la región Nor-Occidente del país, con una extensión de 709.55 km² la cual se encuentra conformada por 2,067 caudales y únicamente 33 de ellos son ríos principales o afluentes permanentes que suman una distancia de 251.24 km, incluyendo el río Xaclbal hasta su punto de aforo, el restante son ríos secundarios que tienen una distancia total de 1,178.79 km; dicha subcuenca forma parte de la cuenca del río Xaclbal que fluye hacia el río Lacantún ubicado en el territorio mexicano. La subcuenca se ubica en la región montañosa de la sierra de los cuchumatanes,

Platanus mexicana pertenece a la familia Platanaceae, misma que se remonta a principios del período Cretácico y consiste en un solo género existente, *Platanus*. (Nixon & Poole 2003).

Con el objeto de enriquecer los conocimientos y distribución de la flora guatemalteca se implementó la presente investigación principalmente en la vegetación dominada por *Platanus mexicana*, la cual se desarrolla en riberas de los ríos, realizando levantamientos de información forestal de las poblaciones de *Platanus* recabando información de sitio, ubicación geográfica y altitudinal, forma biológica y abundancia, así como los aspectos dasométricos representativos de las poblaciones tales como: diámetro a la altura del pecho - DAP.

¹ Aceptado 16/02/2022

Con esta información se elaboró un mapa de ubicación y distribución de las poblaciones de *Platanus mexicana*. Para estudiar la especie *Platanus mexicana* se han obtenido valiosos resultados en campo impulsados por Hidroxacbal S.A. en los cuales se han realizado plantaciones a las que se les ha aplicado manejo forestal y tratamientos silviculturales a los cuales la especie ha presentado un buen desarrollo y rápido crecimiento, constituye un aporte importante para el conocimiento de la flora de Guatemala.

Se muestrearon 4,848 individuos de *Platanus mexicana* en la longitud de los bosques de galería en los ríos principales de la subcuenca del río Xaclbal encontrados en un rango altitudinal desde 160 m s.n.m. hasta los 1,700 m s.n.m., de los cuales la mayor densidad de individuos se concentra entre los 1,396 m s.n.m hasta 1,700 m s.n.m. ubicados en la longitud del río Sichel. Esta población presenta una distribución dimétrica en forma de grupos de edad uniforme, con una mayor frecuencia de individuos comprendidos entre los 60 cm – 70 cm de DAP y en la parte baja de la cuenca se encuentran poblaciones de regeneración natural.

Se delimitaron los transectos en función al rango altitudinal y el cauce principal de la cuenca, para lo cual se subdividió la subcuenca en: parte alta (2,300 m s.n.m – 3,300 m s.n.m.), parte media (1,300 m s.n.m – 2,300 m s.n.m. y parte baja (300 m s.n.m – 1,300 m s.n.m, obteniendo así el punto medio de la corriente principal entre los límites de cada uno de los rangos altitudinales, posteriormente se seleccionó la población en donde se ubicó el punto medio altitudinal, para luego estimar el límite del área espacial ocupada por la población de *Platanus mexicana* seleccionada.

Se descartó el inventario en la parte alta de la subcuenca porque no se encontró presencia de *Platanus mexicana* cuando se realizó el recorrido preliminar, se determinó que las poblaciones de *Platanus mexicana* tienen mayor desarrollo en la parte media de la cuenca de río Xaclbal (1,300 m s.n.m – 2,300 m s.n.m, y a medida que va fluyendo el río hacia el punto de aforo (este se definió a los 301 m s.n.m.) se han ido desplazando mediante viento y/o agua formando poblaciones de regeneración natural en la parte baja de la subcuenca. Es importante mencionar que en la parte baja se observa mayor intervención humana en las poblaciones de *Platanus mexicana* donde predominan las zonas cafetaleras.

Los resultados de las 3 poblaciones fueron: a) Sichel (rango altitudinal 1,375 m s.n.m – 1,680 m s.n.m.) 113 árboles/ha, área basal: 43.5 m²/ha; b) Xamala (rango altitudinal 631

m s.n.m – 900 m s.n.m.): 46 árboles/ha, área basal: 16 m²/ha; c) Xaclbal (rango altitudinal 550 m – 800 m s.n.m.): 31 árboles/ha, área basal: 2.61 m²/ha.

evaluación de cinco tratamientos para el control de trips (*Frankliniella occidentalis Pergande*), en el cultivo de Cimbidio (*Cymbidium sp.*), en la empresa orquídeas holandesas s.a., Patzicía, Chimaltenango, Guatemala, C.A.

Rodolfo Alejandro Rosales Martínez ¹

RESUMEN

Los trips de las flores (*Frankliniella occidentalis P.*) constituyen a la principal plaga en la empresa Orquídeas Holandesas S.A., esto se debe al daño que generan en las inflorescencias. El daño de este insecto consiste en la inserción del aparato bucal en las células de los pétalos lo cual ocasiona necrosis, bordes deformados o encapsulamiento de heridas; provocando la pérdida de la calidad de la inflorescencia que forman las orquídeas Cimbidio (*Cymbidium sp.*) (Vásquez 2013).

Se desarrolló esta investigación con la finalidad de evaluar el efecto de 5 tratamientos. extracto de apazote (*Dysphania ambrosioides*) (T1), aceite de higuierillo (*Ricinus Communis L.*) (T2), extracto de neem (*Azadirachta indica*) (T3), extracto de ajo (*Allium sativum*), especie de chile (*Capsicum annum*) y canela (*Cinnamomum verum*) (T4), y extracto de piretro (*Tanacetum cinareriifolium*) (T5) en trampas de monitoreo y en inflorescencias; realizando la cuantificación del daño y población como variables de respuesta.

Se determinó con base en las variables de respuesta que el tratamiento aceite de higuierillo (T2) presentó menor cantidad de trips por inflorescencia, menor cantidad de trips por trampa y menor daño en las inflorescencias de las flores de Cimbidio, con este tratamiento se logró el cumplimiento de los requisitos en la sala de empaque para la exportación de estas flores, además de que se obtuvieron mayores beneficios económicos al compararlos con el resto de los tratamientos.

Con la información obtenida se determinó la tasa marginal de retorno sobre el tratamiento dominante siendo este el tratamiento aceite de higuierillo (T2) obteniendo mejoras desde el 213.80 % hasta de un 310.80 %. Generando mejoras al obtener mayores ingresos al disponer de una mayor cantidad de inflorescencias que cumplieron con los estándares de calidad; debido a la incorporación de nuevas tecnologías dentro del control de trips de las flores.

¹ Aceptado 22/02/2022

Evaluación de cuatro funciones de ahusamiento en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. f.) procedente de semilla, en el municipio la libertad, Petén, Guatemala, C.A.

Jenifer Beatriz Merlos Santos¹

RESUMEN

En el departamento de Investigación de la empresa Tripan Guatemala S.A., que tiene la responsabilidad de administrar los patrimonios forestales Ceibal S.A. y Chaklum S.A., el manejo forestal de la empresa se basa en el establecimiento, protección, mantenimiento, manejo y cosecha de plantaciones; en un contexto de respeto y armonía con el medio ambiente natural y social. (Forestal Ceibal S.A 2018).

Las actividades principales de la empresa Tripan son, mantención silvícola (limpias, deshijos, podas, entre otros) y actividades de manejo (raleos) de las cuales depende el éxito de los proyectos forestales. Donde tanto los manejos o tratamientos silvícolas, como la calidad del sitio, la densidad del rodal, las influencias ajenas y las condiciones naturales, hacen que el fuste del árbol no sea totalmente uniforme, provocando diferencia en el diámetro y en la altura del fuste de los árboles.

En la presente investigación, se evaluaron cuatro funciones de ahusamiento en árboles de Teca (*Tectona grandis* L. f.), de 12 años de edad, procedentes de semilla, en el municipio La Libertad del departamento de Petén. Los datos provienen de 470 trozas obtenidas de 75 árboles, los cuales se les midió el diámetro y la altura. Los árboles tuvieron un Diámetro a la Altura al Pecho (DAP) mínimo de 19.46 cm y máximo de 27 cm, mientras que la altura comercial (hasta 5 cm de diámetro en el ápice del árbol) fue de un máximo de 20.75 m y mínimo 12.40 m.

El ahusamiento o conicidad de un árbol puede ser descrito mediante una función matemática que permite predecir el diámetro a diferentes alturas del fuste. Las funciones de ahusamiento son una herramienta importante para determinar existencias maderables al realizar la clasificación de productos de árboles en pie (Barrios 1996).

La cuantificación del ahusamiento del fuste del árbol se realizó a través de la aplicación de modelos de funciones estadísticas, las cuales necesitan ser evaluadas con información actual y local debido a la variabilidad entre y dentro de edades de las plantaciones forestales. Toda plantación forestal se manifiesta por tres etapas (crecimiento inicial,

¹ Aceptado 22/02/2022

juvenil y senectud), en las primeras dos etapas el crecimiento es rápido y en la fase de senectud su crecimiento se vuelve constante. Las plantaciones forestales de Tripan, se encuentran en etapas iniciales e intermedias de crecimiento donde se presume que los árboles han sufrido cambios importantes en la forma del fuste.

La selección, comparación y validación de los modelos de ahusamiento, se hizo con base en indicadores estadísticos de bondad de ajuste, además de análisis gráficos y el volumen total real. El modelo Kozak et al. (1969) y modelo Coffré (1983), resultaron ser los más adecuado para describir el perfil del fuste de estos árboles. Ambos modelos poseen altos coeficientes de determinación (r^2) 0.992 y 0.975 respectivamente, además presentan la raíz del error medio cuadrático (REMC) más baja 0.08 y 0.06 equitativamente.

Identificación molecular de las especies de nematodos formadores de quistes en papa del género *Globodera* *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida* en áreas productoras de los departamentos de Quetzaltenango y Huehuetenango, Guatemala, C.A.

Eduardo Antonio Rodríguez Villagrán¹

RESUMEN

En Guatemala la papa *Solanum tuberosum* L. se encuentra presente en un sistema de cultivo, dividido por regiones productoras, según las características edafoclimáticas de las localidades de producción, dentro de los principales productores a nivel nacional se encuentran los departamentos de Quetzaltenango y Huehuetenango, con un porcentaje de producción de 22 % y 28 % respectivamente. Uno de los problemas más importantes encontrados en las áreas productivas de la papa *Solanum tuberosum* L. es la presencia de nematodos formadores de quistes, siendo la plaga responsable de la pérdida de hasta el 80 % de la producción del cultivo, razón por la cual es necesario generar estrategias para el control de esta plaga que reduce significativamente el rendimiento.

En Guatemala, se ha reportado la presencia de nematodos formadores de quistes en los campos de cultivo de papa *Solanum tuberosum* L., las cuales pertenecen a diversos géneros, siendo el género *Globodera* con mayor presencia a nivel nacional, dentro de este género se puede identificar dos especies principales, el nematodo dorado *G. rostochiensis* y el nematodo pálido *G. pallida*.

El problema fundamental en el diseño de estrategias eficientes para el control de los nematodos formadores de quistes, es la falta de certeza en la identificación de la especie que ocasiona daño al cultivo, las cuales presentan variaciones morfológicas, ecológicas e infectivas, pero en ocasiones las características morfológicas no representan una variación apreciable que nos indique que nematodo es el que está afectando al cultivo de papa.

Se realizó la identificación de las especies de nematodos formadores de quistes *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida* presentes en los municipios de San Juan Ostuncalco, Concepción Chiquirichapa, Palestina de los Altos, Aguacatan y Chiantla, utilizando el proceso de PCR multiplex (Reacción en cadena de la polimerasa), con el uso de los cebadores, ITS5 en común para ambas especies y los específicos PITSr3 para la identificación de *Globodera rostochiensis*, y el cebador PITSp4 para *Globodera pallida*.

¹ Aceptado 24/02/2022

Como parte de los resultados se obtuvo que en todos los municipios analizados existe la presencia de la especie *Globodera rostochiensis*, no existió la presencia de la especie *Globodera pallida* en ningún municipio analizado.

Viabilidad de plantaciones de *Roseodendron donnell-smithii* y *Swietenia macrophylla* en asocio con *Tectona grandis* en el pacífico de Guatemala, C.A.

Edgar Giovanni Hernández Pérez¹

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue estudiar potencialidades y limitantes para cultivo en plantación de *Roseodendron donnell-smithii* y *Swietenia macrophylla*, especies nativas de madera valiosa, al ser plantadas junto a *Tectona grandis*. El trabajo se realizó en finca San Julián, Patulul Suchitepéquez, ubicada en las tierras bajas y húmedas del pie de monte volcánico del Pacífico de Guatemala.

Se analizaron las interacciones entre las especies en rodales de edad intermedia y a partir de ello se proyectaron posibles trayectorias de desarrollo. Se evaluó la respuesta de las especies en diferentes esquemas de cultivo, analizando sus requerimientos ecológicos y posibilidades de manejo. Se evaluaron los tratamientos monocultivo palo blanco, mezcla compleja (palo blanco, teca y caoba), bicultivo deliberado de palo blanco y teca), y bicultivo accidental de palo blanco y teca.

Entre los esquemas de cultivo comparados para palo blanco, la opción que superó al resto de tratamientos fue la mezcla deliberada de palo blanco con teca, con la particularidad que palo blanco se estableció dos años antes que teca; el cultivo de caoba junto a palo blanco y teca mostró pobre desarrollo de palo blanco y lento desarrollo para caoba; esta última mostró mayor resiliencia a la dominancia de teca, caoba superó el ataque del barrenador del ápice.

La investigación mostró que el cultivo asociado de *R. donnell-smithii* es viable junto a *T. grandis* toda vez la proporción, momento de establecimiento y manejo propicien el desarrollo de palo blanco. La mezcla compleja podría ser otra opción viable de cultivo para palo blanco y caoba, pero requiere una densidad inicial menor para teca y regular la densidad de rodal desde temprana edad.

¹ Aceptado 24/02/2022

Evaluación de tres sustratos de origen local, para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) bajo un sistema artesanal, en la aldea de Choaxan i, del Municipio de Chinique, departamento el Quiché, Guatemala, C.A.

Julio César Morales Batres¹

RESUMEN

La producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) bajo un sistema artesanal, representa para la comunidad de Choaxan, una alternativa de fácil acceso para la producción de alimentos en el hogar que contribuye al fortalecimiento de la seguridad alimentaria y nutricional de la localidad, ya que no solo aumentaría la disponibilidad de alimentos en la región, sino que además mejoraría las capacidades de los pobladores para producir sus propios alimentos. En la presente investigación se realizó la evaluación de la respuesta de tres sustratos de origen local, en la producción de *Pleurotus*, con el propósito de encontrar una alternativa de sustrato de origen local, de fácil acceso y bajo costo, que se adapte mejor al sistema artesanal, y de esta forma funcionar como un incentivo de aceptación de esta tecnología para los pobladores de Choaxan.

Los sustratos seleccionados para la investigación fueron: olote de maíz, rastrojo de maíz y cáscara de frijol. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres tratamientos y 4 repeticiones. La unidad experimental consistió en 4 bolsas de polietileno con capacidad de 25 lb las que contenían el sustrato a evaluar y 4 oz de semilla de hongo ostra por cada bolsa, el resultado de cada unidad fue promediado dentro de las 4 bolsas que la constituían. Las variables respuestas medidas fueron: tiempo de inoculación en días, rendimiento en kilogramos por hectárea, relación beneficio costo. Para agregarle un enfoque más participativo a esta investigación se realizó una campaña de sensibilización de producción y consumo del hongo ostra en la comunidad de Choaxan, donde la variable respuesta medida fue el número de personas capacitadas en la producción y preparación de la zeta ostra para consumo y complemento de la dieta familiar.

Los resultados y análisis estadístico reflejaron que tanto el tratamiento compuesto por olote de maíz como el de cáscara de frijol presentaron una media de 16 días como período de colonización, mientras que el rastrojo de maíz tuvo 20 días promedio. Estadísticamente no existieron diferencias significativas. Para la variable rendimiento, los tratamientos 2 y 3 (rastrojo de maíz y cáscara de frijol respectivamente) presentaron estadísticamente los mejores rendimientos, superiores al presentado por el tratamiento 1 (olote de maíz). Las relaciones beneficio costo para los tratamientos 2 y 3 fue de 2 mientras que para el

¹ Aceptado 31/03/2022

tratamiento 1 fue de 0.91; comparando estos valores con el rendimiento, los tratamientos 2 y 3 fueron los recomendados para la producción de hongo ostra en la comunidad de Choaxan.

Con la campaña de sensibilización de producción y consumo de hongo ostra en la comunidad de Choaxan, se logró capacitar a 5 señoras miembros del CADER con diferentes talleres de carácter teórico práctico sobre la producción de hongo ostra bajo un sistema artesanal, y un total de 12 mujeres fueron capacitadas para la validación de 5 recetas para la fácil preparación de hongo ostra y de esta forma fomentar el consumo e inclusión de este alimento en la dieta familiar.

Diversidad genética de aislados de *Moniliophthora roreri* (Cif.) H. C. Evans, Stalpers, Samson & Benny colectados en zonas productoras de cacao (*Theobroma cacao* L.) del norte y sur de Guatemala, C.A.

Danilo Fernando Villanueva Osorio¹

RESUMEN

La moniliasis es una enfermedad que afecta a las plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Guatemala, es causada por el patógeno *Moniliophthora roreri* (Cif.) H. C. Evans, Stalpers, Samson & Benny.

Esta es una de las enfermedades que más daño causan en América Latina, causando pérdidas comerciales mayores al 90 % en producciones de cacao de diversos países como Perú, Colombia y Ecuador, siendo estos algunos de los principales países productores de cacao en América (Phillips-Mora et al. 2007). La dispersión de este patógeno en Guatemala es relativamente reciente, ya que fue reportado por primera vez en el año 2002, siendo su dispersión principalmente de forma clonal.

Esta enfermedad no ha sido estudiada en Guatemala a nivel de diversidad, por lo cual se desconoce la evolución biológica del patógeno. Por lo tanto, para definir la diversidad de este patógeno se utilizó el marcador molecular Polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados (AFLP), y se analizaron 69 aislados de *Moniliophthora roreri* (Cif.) H. C. Evans et al., provenientes de las zonas productoras de cacao del sur (San Miguel Panán, El Tumbador) y norte (San Agustín Lanquín, Santa María Cahabón y Puerto Barrios), para definir la diversidad genética de las poblaciones de este patógeno.

A través de un análisis de agrupaciones método de grupo de pares no ponderados con media aritmética (UPGMA) y el análisis de coordenadas principales, se agruparon con aislados de las diferentes regiones con una similitud de 0.80. Se determinó a partir del índice Shannon de 0.05, índice de Nei de 0.02, la proporción genética general de 0.12 y una proporción de loci polimórfico de 12.28 %, un nivel bajo de diversidad genética. El análisis molecular de varianza mostró una diferencia entre regiones del 3 %, entre poblaciones del 6 % y dentro de las poblaciones de un 91 %, estos valores confirmaron una baja variabilidad genética asociada al reciente ingreso del patógeno al país, dispersión clonal y la transmisión de semilla entre productores de cacao dentro del país.

¹ Aceptado 31/03/2022

La investigación fue realizada en el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala durante los meses de noviembre 2020 a marzo del 2021 y es una contribución para la determinación de la variabilidad genética de poblaciones de *M. roleri* (Cif.) H.C. Evans et al de regiones productoras de cacao de Guatemala; su vez es parte del proyecto de investigación “Resistencia de genotipos comerciales y criollos de cacao ante *Moniliophthora roleri* y sensibilidad de este hongo a fungicidas”, promovida por la Dirección General de Investigación (DIGI), de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Caracterización del uso del agua de las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán del departamento de Sololá, Guatemala, C.A.

Irma Raquel González Turcios¹

RESUMEN

El aumento de la población y la inadecuada gestión, aunado al incremento de las actividades socioeconómicas y productivas, ejerce una fuerte presión sobre los recursos naturales, especialmente sobre el recurso hídrico, este es el caso de las microcuencas Panajachel y San Francisco, cuya área de cobertura es de 10.15 km² con una población de 15,077 habitantes; y microcuenca Santiago Atitlán con un área de 7.83 km² y una población de 27,184 habitantes, ubicadas dentro de la cuenca del Lago Atitlán del departamento de Sololá.

El objetivo principal de la investigación consistió en caracterizar el uso del agua de las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán a través del reconocimiento de los sectores socioeconómicos presentes en las áreas de estudio, la estimación del volumen del agua utilizado por estos sectores y la comparación entre el volumen de agua producido en las microcuencas y la demanda hídrica de los sectores socioeconómicos.

A partir de ello se obtuvo, por medio de encuestas, los principales sectores socioeconómicos, los cuales fueron: sector hotelero, sector de restaurantes, consumo humano y agricultura; en este último, predominando los cultivos de maíz, café, cebolla y hortalizas.

En cuanto al abastecimiento hídrico de los principales sectores socioeconómicos, se determinó que este era a través del servicio municipal, el cual es proporcionado por las fuentes hídricas superficiales y subterráneas que se encuentran presentes en las microcuencas.

Por otra parte, se tuvo el aforo de las fuentes de distribución hídrica, las cuales se encuentran a cargo de la municipalidad de Panajachel en el caso de las microcuencas Panajachel y San Francisco, y municipalidad de Santiago Atitlán para la microcuenca Santiago Atitlán. El objetivo consistía en contabilizar la cantidad de agua que es captada de las fuentes de abastecimiento hídrico de las microcuencas.

¹ Aceptado 06/04/2022

En las microcuencas Panajachel y San Francisco, la red hídrica proporciona una cantidad 2, 409,696 l/d, las fuentes subterráneas producen 4, 905,360 l/d, generando un volumen hídrico total de 7, 315,056 l/d. La microcuenca Santiago Atitlán, genera un volumen total de agua de 6, 560,640 l/d.

En relación con la demanda hídrica de los sectores socioeconómicos, se obtuvo que el sector de hoteles, sector de restaurantes y consumo humano en la microcuenca Panajachel y San Francisco es de 4, 954, 461.56 l/d y en la microcuenca Santiago Atitlán es de 3, 979, 752 l/d. En esta estimación se exceptuó el cálculo para el sector agrícola, ya que no existe ninguna concesión municipal para cubrir la demanda hídrica de este sector.

Se concluye que las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán logran cubrir las demandas hídricas de los sectores de hoteles, restaurantes y viviendas; no así del sector agrícola. Sin embargo, aunque existe un alto volumen de agua producido por la red hídrica, los usuarios manifestaron escasez de agua, lo cual puede ser producto de una mala gestión y administración del recurso hídrico en las microcuencas.

Se recomienda propiciar espacios de diálogo entre comunitarios y autoridades municipales para la identificación de problemáticas y limitantes referentes al recurso hídrico, de manera que se puedan coordinar esfuerzos para la buena gobernanza del agua; así como generar acciones que estén enfocadas en la adopción de medidas sobre adaptación basada en los ecosistemas que impacten de manera positiva a la seguridad hídrica de las comunidades.

Propuesta metodológica para el manejo de los residuos y desechos sólidos derivados de la preparación de alimentos en las escuelas priorizadas por el programa mundial de alimentos, en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala, C.A.

Claudia Marina Bedoya Del Cid¹

RESUMEN

La presente investigación consiste en una propuesta para el manejo de residuos y desechos sólidos generados por la preparación de menús escolares en las escuelas beneficiadas por el Programa Mundial de Alimentos (PMA).

La preparación de alimentos escolares es una actividad que genera residuos y desechos sólidos y generalmente no reciben manejo o tratamiento apropiado, la exposición de los mismos perjudica la salud humana y de los ecosistemas naturales.

Entre los problemas ambientales de mayor impacto en Guatemala sobresale la acumulación al aire libre de residuos y desechos sólidos. La falta de metodologías adecuadas para el manejo y tratamiento de los desechos sólidos generados por la preparación de los menús escolares, las actividades económicas y actividades didácticas en las escuelas, afectan negativamente al entorno ambiental contribuyendo al deterioro del paisaje, contaminación de cuerpos de agua aledaños, a la emisión de gases de efecto invernadero, a la infiltración de lixiviados y proliferación de vectores nocivos para la salud. Por lo tanto, es de importancia social y ambiental la elaboración de metodologías para el manejo de los mismos.

El Programa Mundial de Alimentos (PMA) es una organización humanitaria que brinda asistencia alimentaria en emergencias y trabaja con las comunidades para mejorar la nutrición y crear resiliencia. Las escuelas que apoya el PMA poseen un promedio de 250 alumnos. Durante cinco días a la semana preparan alimentos, es decir diariamente se generan desechos sólidos de origen orgánico e inorgánico, materiales que no cuentan con ningún tratamiento de separación, reutilización o reciclaje.

Mediante la estimación de los materiales generados por la preparación de 244 menús escolares, se computó un 47 % de residuos orgánicos, 42 % de residuos reciclables y un 11 % de residuos no reciclables, basada en la composición física de los mismos, se trabajaron metodologías para el manejo de los residuos reciclables donde se propone

¹ Aceptado 06/04/2022

una estación de reciclaje, para el manejo de los residuos orgánicos la elaboración de abono orgánico y para los desechos no aprovechables la elaboración de eco ladrillos donde se encapsulan los envoltorios de aluminio y plástico.



**INSTRUCCIONES PARA AUTORES Y GUÍA DE EVALUACIÓN PARA
ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO**

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

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

En la revista se publican trabajos originales de contribución técnico- científica (artículos) en el campo de las ciencias agrícolas, forestales, ambientales, agroindustriales, sociales, biológicas, ecológicas, etc.; 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 el Consejo Editorial de la Facultad de Agronomía, 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, aprobarse 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 27.94 mm), con márgenes superior, inferior, izquierda y derecha de 2,5 cm; fuente Arial 12; y contener un máximo de 10 páginas, incluyendo cuadros y figuras.

En la primera página deberá contener el título del trabajo no mayor a 20 palabras, el resumen de 250 palabras y las palabras clave (Con base en el AGROVOC de la FAO).

Los cuadros y figuras deberán ser numerados con números arábigos consecutivos y aparecer referidos en los textos. Deben ser legibles sobre todo en sus leyendas (no deben bajar de Arial 8).

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 a colores, trabajarlas en Word o Excel para poder hacer cambios en leyendas en tamaño de letra o tipografía. A las fotografías se aplican los mismos criterios que para las figuras, deben estar en formato JPG o PNG. Para las figuras y fotografías no enviar capturas o recortes de las mismas.

Los trabajos deben presentarse de acuerdo con el siguiente esquema:

TÍTULO en Español,
RESUMEN (seguido de Palabras clave tomadas de AGROVOC),
TÍTULO DEL ARTÍCULO en inglés,

ABSTRACT (seguido de Key words tomadas de AGROVOC);

1. INTRODUCCIÓN (incluye revisión de literatura);
2. MATERIAL Y MÉTODOS;
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN;

4. CONCLUSIONES;

5. LITERATURA CITADA, (Se acepta APA, IICA o ISO), alineadas a la izquierda; y

6. AGRADECIMENTOS (si es pertinente)

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: **tikalía@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 completos del o los autores(es). En esa misma hoja, como pie de página, el grado académico, cargo, lugar de trabajo y correo del o los autor(es).

Título: Conciso e indicar el contenido del trabajo, no mayor a las 20 palabras.

Resumen: Presenta lugar, época, objetivo, métodos y resultados o conclusiones. Es seguido de las palabras clave tomadas del AGROVOC de la FAO, <http://aims.fao.org/es/standards/agrovoc/functionalities/search>.

Abstract: Consiste en la traducción del resumen al idioma inglés. Es seguido de key words. Tomadas del AGROVOC de la FAO, <http://aims.fao.org/es/standards/agrovoc/functionalities/search>

Introducción: Presentar el contexto, antecedentes, alcances, beneficiarios de los resultados y objetivos

Materiales y métodos: reúne la información necesaria para la reproducción del trabajo por otros investigadores, los diferentes métodos deben referenciarse con base en la bibliografía. (insumos, herramientas, métodos y procedimientos plenamente identificados)

Resultados y Discusión: Presentación concisa de resultados, incluye cuadros, figuras y fotos. Análisis y discusión de los mismos, respaldados por 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 sólo las referencias citadas en el texto (IICA, APA o ISO).

Lista de chequeo para que el artículo pueda ser admitido para su evaluación por el Consejo Editorial

Esta lista de chequeo detalla los elementos mínimos que debe presentar un artículo para ser para ser evaluado para su publicación en la Revista Tikalia, la misma va a ser cotejada por la **Secretaría del Consejo Editorial**. El propósito inicial de esta guía es que cada artículo llene los requisitos mínimos estipulados en las instrucciones para autores.

Para aquellos artículos que el Consejo Electoral apruebe para su publicación, sujeto a correcciones, la Secretaría del Consejo Editorial enviará una notificación al autor principal sobre los cambios esenciales que debe realizar a su artículo, especificando el lapso de **15 días** para la devolución del mismo y proceder con el siguiente paso.

Elementos mínimos para la aceptación del artículo	Si	No
¿El artículo cuenta con un máximo de 10 páginas incluyendo gráficas y cuadros?		
¿Cada autor presenta: nombre completo, grado académico, lugar donde labora y correo electrónico?		
¿El artículo cuenta con Resumen resaltando lugar, época, objetivo, metodología y principales resultados, conclusiones o recomendaciones (máximo 250 palabras)?		
¿Palabras clave obtenidas de AGROVOC FAO?		
¿El artículo cuenta con Abstract (máximo 250 palabras en inglés)?		
¿Key words obtenidas de AGROVOC FAO?		
¿El artículo cuenta con introducción, presentación, antecedentes, contexto, beneficiarios, alcances de la investigación y marco conceptual?		
¿El artículo tiene conclusiones y recomendaciones?		
¿El artículo cuenta con referencias en IICA, APA o ISO?		
¿Las gráficas, figuras o cuadros tienen la resolución mínima requerida?		
¿Las gráficas, figuras o cuadros cuentan título descriptivo?		
¿Las gráficas, figuras o cuadros cuentan con una tipografía legible, no menor a Arial 8?		
¿Si las figuras o cuadros no son del autor, estas tienen fuente de donde se tomó la información?		

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

CONTENIDO

- 1** El control de plagas a través de campos magnéticos.

- 11** Incentivo a sistemas agroforestales en fincas pequeñas del corredor seco del oriente de Guatemala: potencial y limitantes.

- 33** Determinación y caracterización del agente causal de la enfermedad “pata negra” en ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), Guatemala, C.A.

- 48** El cálculo de diversidad biológica. Parte I: Diversidad biológica alfa.

- 63** Resumen de Tesis de Grado

- 84** Instrucciones para autores y guía de evaluación para aceptación de artículo

Publicación indexada en:



www.latindex.unam.mx