

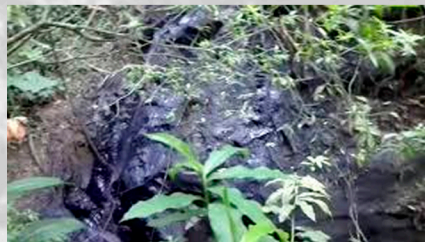
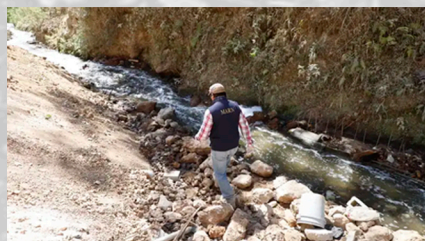
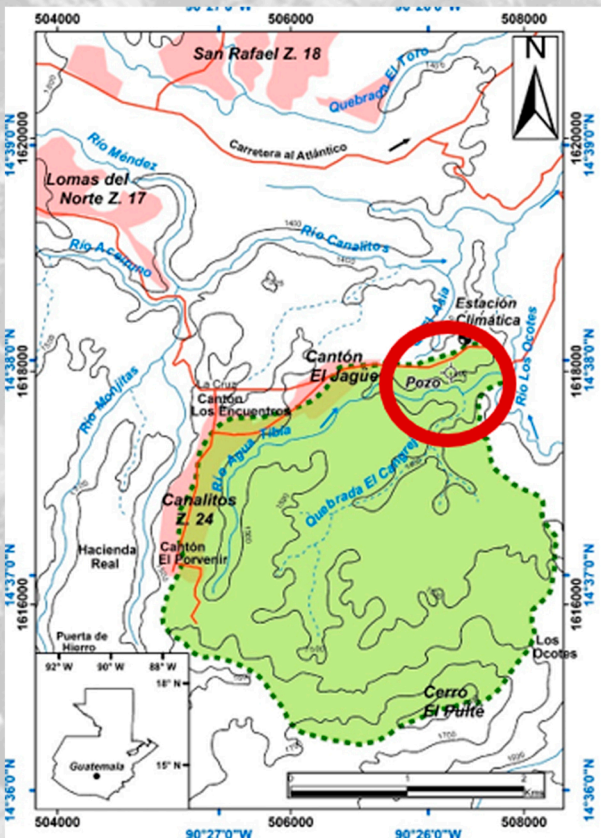


Volumen 42 número 1
Enero-Junio 2024

tiikalia

ISSN 2221-5964

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



Descenso del nivel piezométrico en el sector de Canalitos al noreste de la ciudad de Guatemala y afectación del agua subterránea



TIKALIA

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

FACULTAD DE
AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Volumen. 42, Número. 1



Guatemala, enero - junio 2024



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

Junta Directiva de la FAUSAC 2024

Decano

Doctor Marvin Roberto Salguero Barahona

Secretario Académico

Ing. Agr. Edi Noé Quan Barrios

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 Nehemías Xinico

Consejo Editorial

Doctor Marvin Roberto Salguero Barahona (Presidente)

Licda. Michelle Sanabria (Secretaría)

Dr. Hugo Cardona Castillo.

Ing. Agr. José Humberto Calderón Díaz.

Br. Marco Yordano Hernández.

Revista  **tikalia**

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) 54767223

Correo electrónico: consejoeditorial@fausac.gt/ nmichi19@gmail.com

Diagramadora/gestora:

Michelle Sanabria Oliva

PRESENTACIÓN

Revista Tikalia Volumen 42, Número 1-2024, (enero-junio) publicación científica semestral de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, contiene los artículos siguientes:

Descenso del nivel piezométrico en el sector de Canalitos al noreste de la ciudad de Guatemala y afectación del agua subterránea; Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez. Desarrollado en el sector de Canalito, el objetivo del mismo fue evaluar el comportamiento hidrodinámico en el pozo El Jagüey, considerando las oscilaciones de forma trimestral del nivel piezométrico durante el periodo de 2016 a 2022 y las relaciones que estas presentan con la ocurrencia de precipitaciones pluviales. A partir de septiembre del año 2019 el nivel piezométrico descendió más de un metro de profundidad, lo cual se asocia a la construcción de urbanizaciones y del campo de golf en el Cerro El Pulté.

El cálculo de biodiversidad. Parte II. Diversidad beta y gamma; José Vicente Martínez Arévalo. Se muestra la complejidad del cálculo de la diversidad beta desde la concepción inicial de Whittaker en 1960, y las múltiples propuestas para su estimación. Las dos maneras principales donde se mide la diversidad beta es a partir de gradientes ambientales y del cálculo de la diversidad en varias muestras en una región, que no están dispuestas en ejes ambientales. Las formas más utilizadas en el cálculo son los índices de similitud, disimilitud y distancia, los hay para valores de presencias-ausencia y valores de abundancia. Esta revisión puede ayudar a comprender el amplio valor que tiene la adecuada interpretación de los valores de biodiversidad en el manejo y conservación de ecosistemas.

Los editores

CONTENIDO

- 1 Descenso del nivel piezométrico en el sector de Canalitos al noreste de la ciudad de Guatemala y afectación del agua subterránea**

Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez

- 15 El cálculo de biodiversidad. Parte II. Diversidad beta y gamma**

José Vicente Martínez Arévalo

- 37 Resúmenes de Tesis de Grado**
-

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



tikalía

Descenso del nivel piezométrico en el sector de Canalitos al noreste de la ciudad de Guatemala y afectación del agua subterránea

Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez ¹

Recibido el 04 de noviembre de 2022.
Aprobado el 09 de septiembre de 2023.

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado en el sector de Canalitos al noreste de la ciudad de Guatemala. El objetivo del mismo fue evaluar el comportamiento hidrodinámico en el pozo El Jagüey, considerando las oscilaciones de forma trimestral del nivel piezométrico durante el periodo de 2016 a 2022 y las relaciones que estas presentan con la ocurrencia de precipitaciones pluviales. La representación de los niveles piezométricos junto con las precipitaciones mensuales, mostró que no existe una respuesta del nivel piezométrico a los eventos de lluvia, pero sí condiciona una mayor recarga en los meses lluviosos de junio y septiembre. A partir de septiembre del año 2019 el nivel piezométrico descendió más de un metro de profundidad, lo cual se asocia a la construcción de urbanizaciones y del campo de golf en el Cerro El Pulté. En los años 2020, 2021 y 2022 se presentó una disminución del nivel, de 2 m/año, generado por la habilitación y funcionamiento del pozo La Cruz del Cantón Los Encuentros a 2 km de distancia. En todo el registro, el descenso del nivel piezométrico es de 7 metros que equivale a 1 m/año y determina que la extracción de caudales de los pozos supera la recarga hídrica anual de 0.063 m/año, causando un efecto negativo en el acuífero por la sobre extracción de agua.

Palabras Clave

Pozo, monitoreo, lluvia, recarga, acuífero.

ABSTRACT

This work was developed in the Canalitos sector at the northeast of Guatemala City. The objective was to evaluate the hydrodynamic behavior in El Jagüey well, with the monitoring of the oscillations on a quarterly basis of the piezometric levels during the period from 2016 to 2022 and the relationships they present with the occurrence of rainfall. The representation of piezometric levels together with monthly rainfall, showed that there is no response of the piezometric level to rainfall events, but it does condition a greater recharge in the rainy months of June and September. As of September 2019, the piezometric level dropped more than one meter deep, which is associated with the construction of urbanizations and the golf course in the hill El Pulté. In the years 2020, 2021 and 2022 there was a decrease in the level of 2 m/yr, generated by the authorization and operation of La Cruz well in the town of Los Encuentros 2 kilometers away. Throughout the record, the decrease in the piezometric level is 7 meters, which is equivalent to 1 m/yr and determines that the extraction of flows from the wells exceeds the annual water recharge of 0.063 m/yr, causing a negative effect on the aquifer due to the over-extraction of water.

Keywords

Well, monitoring, rain, recharge, aquifer.

1. INTRODUCCIÓN

Conocer la variación a lo largo del tiempo de los niveles piezométricos de un acuífero, permite controlar los recursos disponibles, establecer los balances hídricos y plantear la explotación del acuífero (Escuder et al, 2009). Las grandes oscilaciones pueden ser debidas a la estacionalidad de los bombeos, recarga o variaciones en la explotación, como es el caso del acuífero sur de la ciudad de Guatemala explotado en el sector de Ojo de Agua, donde se presenta un descenso en los niveles de agua subterránea de 13 metros en 20 años de explotación (Herrera y Orozco, 2010).

En la zona volcánica donde se asienta la ciudad de Guatemala, el análisis de la variación del nivel piezométrico resulta de interés para la caracterización hidrodinámica y para evaluar la afectación del recurso hídrico subterráneo por la explotación, dado que del mismo resulta el mayor recurso disponible tanto para el abastecimiento de agua potable a la población, como para los usos: industrial, comercial, agrícola, ganadero y recreacional (Herrera, Manzo y Hernández, 2016).

El área de estudio es la microcuenca del río Agua Tibia en Canalitos zona 24, donde actualmente existen dos pozos de producción en los cantones El Porvenir (317 gal/min) y Los Encuentros (400 gal/min). La microcuenca se enmarca dentro de la cuenca del río Los Ocotes, de 63.6 km², al noreste de la ciudad de Guatemala catalogándose como un área potencial para el desarrollo de las aguas subterráneas (Herrera, 2012).

A partir del año 2019, el sector noreste de la ciudad de Guatemala fue ampliando la construcción de desarrollos urbanos y un campo de golf en el Cerro El Pulté, lo que incrementó el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo ubicado en el área urbana y suburbana. Además, en los últimos años el sector de Canalitos ha tenido una demanda creciente del recurso, por lo que la empresa municipal de agua (EMPAGUA), prestatario del servicio de agua de red para el aumento de los caudales de extracción de agua subterránea, ha recurrido a la habilitación de antiguos pozos construidos en los años 1991 y 1992 por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación del comportamiento del nivel de agua subterránea del pozo del Cantón El Jagüey Este (ver Figura 1), considerando las variaciones de los niveles piezométricos para el periodo de los años 2016 a 2022 y las relaciones con la ocurrencia de precipitaciones pluviales durante estos años.

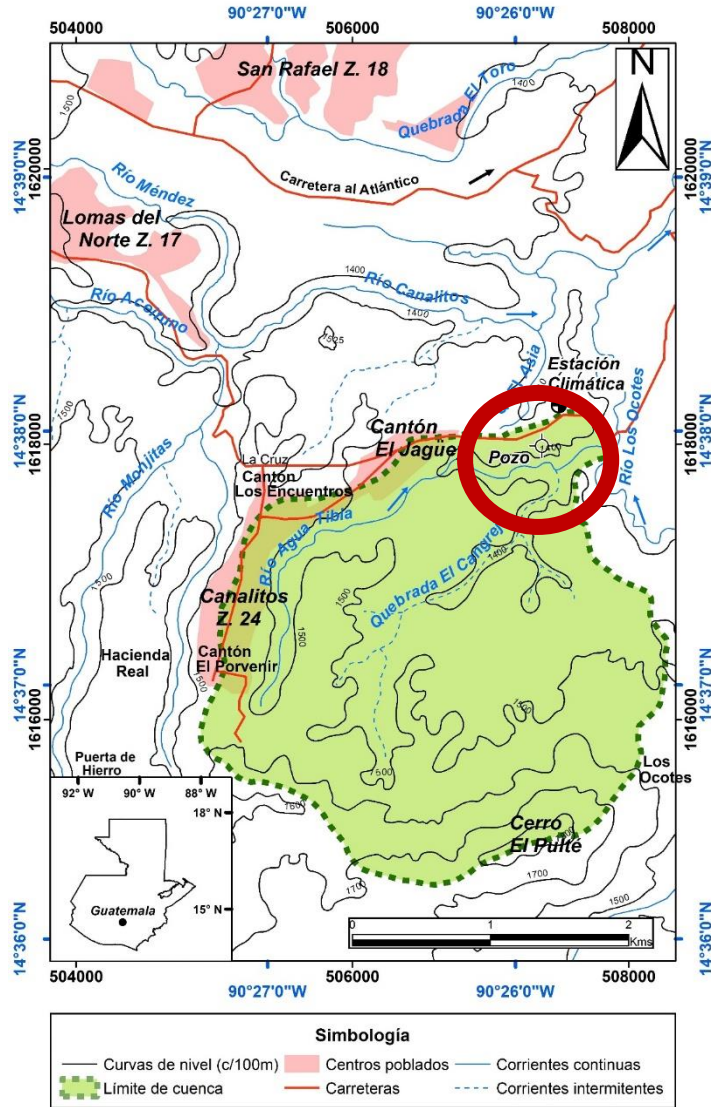


Figura 1. Localización del pozo Jagüey Canalitos al noreste de la ciudad de Guatemala

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de investigación se sitúa en la microcuenca del río Agua Tibia en Canalitos zona 24 en el municipio de Guatemala, que geográficamente se localiza entre los $14^{\circ} 36' 06''$ a $14^{\circ} 37' 58''$ de latitud norte y los $90^{\circ} 25' 12''$ a $90^{\circ} 27' 21''$ de longitud oeste, con una superficie de 7.95 km². El río tiene su nacimiento en el Cerro El Pulté con altitud de 1,820 msnm y su punto más bajo a 1,350 msnm en la unión con el río Los Ocotes.

Los materiales utilizados fueron principalmente: sonda eléctrica, GPS y pluviómetro.

Metodología

La integración de tecnologías de representación e interpretación de series temporales de niveles piezométricos posibilita la detección de tendencias y generación de predicciones. De aquí que las técnicas de representación gráfica tengan una gran importancia y utilización en hidrología subterránea (Escuder, et al, 2009).

Los acuíferos tienen un régimen dinámico, con ciclos temporales que pueden representarse midiendo los niveles piezométricos en periodos mensuales y anuales, que facilita su visualización e interpretación (Custodio y Llamas, 2001).

El control de los niveles se efectúa midiendo la profundidad del nivel del agua respecto a un punto de referencia como el brocal del pozo o cota del terreno. Esta operación se puede realizar midiendo las cotas absolutas del nivel de agua bajo la superficie del terreno (Escuder, et al, 2009; Fetter, 1980).

La fluctuación de los niveles piezométricos se midió a partir de enero del año 2016 a septiembre de 2022, de forma trimestral, en el pozo del Cantón El Jagüey Este denominado C-2 por EMPAGUA, con coordenadas: $14^{\circ} 37.945'$ de latitud N y $90^{\circ} 25.894'$ de longitud O, a una elevación de 1,453 msnm. Este pozo se construyó en el año 2000 y se clausuró en el año 2007. La metodología incluyó la instalación de una estación climática en enero del 2016, en un terreno privado frente al sitio del pozo con un pluviómetro. La estación es Villa Roma que se localiza en los $14^{\circ} 38'$ de latitud N y $90^{\circ} 25.824'$ de longitud O, a una elevación de 1,445 msnm.

Los datos de nivel de agua subterránea recabados en el pozo y de lluvia en la estación climática fueron sistematizados y procesados, obteniendo los valores medios y los gráficos de variación del nivel piezométrico. Se evaluó además la variación en función de las precipitaciones pluviales mensuales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del acuífero

Herrera y Herrera (2021), definieron que el acuífero en explotación se aloja en tobas soldadas con cambios en el grado de fracturación y por ende en la permeabilidad, que produce variación en los caudales. Los mismos autores determinaron los parámetros hidráulicos representativos de las condiciones medias de la zona, con valores de conductividad hidráulica de 2.71 m/día y transmisividad de 542 m²/día. Los datos de ensayos de bombeo, indican un coeficiente de almacenamiento de 1.98×10^{-2} interpretados por el método de Boulton-Prickett (Escuder et al, 2009).

El estudio hidrogeológico determinó que el acuífero volcánico tiene una zona saturada mayor de 200 metros de espesor, mientras que la zona no saturada de 100 metros, está compuesta por depósitos piroclásticos de pómez y capas de ceniza volcánica, siendo estas últimas las que constituyen el acuitardo y definen un acuífero semiconfinado (Foster et al, 2003). Además, la recarga hídrica anual es de 4.18 millones de metros cúbicos, con láminas de recarga media de 63 mm o 0.063 m que se presenta principalmente en la parte media de la cuenca del río Los Ocotes donde sobresalen las áreas de colinas de Santa Catarina Pinula, San José Pinula y Cerro El Pulté del municipio de Guatemala (Herrera, 2012).

3.2 Comportamiento de la pluviometría

La precipitación normal anual para el período analizado de 2016 a 2022 fue de 1,741.6 mm como se presenta en el cuadro 1, con un año seco en 2019 que presentó una precipitación de 1,491 mm, es decir, 14.4% menos de la precipitación media. El año más lluvioso fue el 2022 con 2,282 mm anuales por el paso del “huracán Ian” en el mes de septiembre.

Para esta área los meses más lluviosos, en el registro, se presentaron en septiembre (401.6 mm), junio (354.4 mm) y agosto (254.4 mm), mientras que los meses más secos fueron: febrero (7.0 mm), marzo (8.4 mm) y diciembre (8.8 mm).

Cuadro 1. Precipitación pluvial mensual del período 2016 – 2022, Estación Villa Roma

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2016	38.0	15.0	18.0	98.0	249.0	346.0	119.0	197.0	362.0	129.0	22.0	16.0	1609.0
2017	49.0	17.0	16.0	104.0	244.0	355.0	112.0	201.0	358.0	124.0	11.0	9.0	1600.0
2018	52.0	16.0	13.0	90.0	237.0	578.0	60.0	159.0	388.0	112.0	9.0	0.0	1714.0
2019	0.0	0.0	0.0	79.0	159.0	322.0	126.0	151.0	330.0	287.0	27.0	10.0	1491.0
2020	50.0	0.0	0.0	97.0	213.0	161.0	150.4	237.0	390.0	174.0	235.0	5.0	1712.4
2021	12.0	1.0	0.0	131.0	267.0	209.0	170.0	417.0	313.0	241.0	0.0	13.0	1774.0
2022	0.0	0.0	12.0	70.0	150.0	510.0	195.0	419.0	670.0	246.0	10.0		2282.0
Media	28.7	7.0	8.4	95.6	217.0	354.4	133.2	254.4	401.6	187.6	44.9	8.8	1741.6

Las mediciones de niveles piezométricos del pozo Jagüey Este (sin funcionamiento) con una profundidad de perforación de 300 metros del período 2016 a 2022, supone que la recarga del sistema acuífero es autóctona, por precipitaciones con el área preferencial de recarga en el Cerro El Pulté y áreas de descarga hacia el noreste donde los receptores son los afluentes del río Los Ocotes.

La representación de los niveles piezométricos junto a las precipitaciones mensuales (Figuras 2, 3 y 4), permitió observar que en la mayoría de los años existe una cierta respuesta del nivel a los eventos de lluvia, principalmente de los meses de junio y septiembre donde se presentan las mayores precipitaciones mensuales.

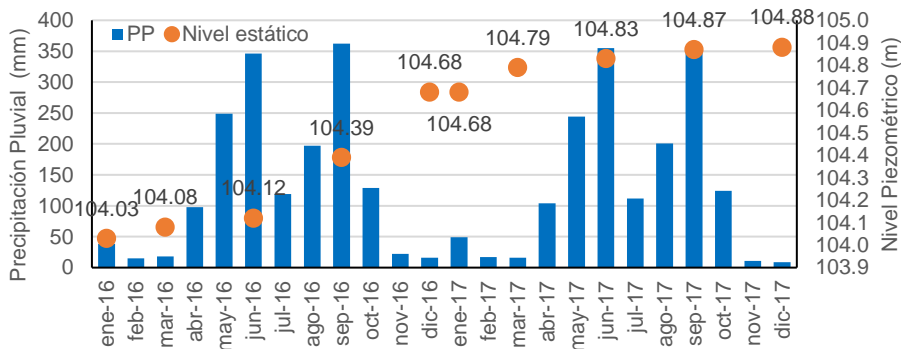
Figura 2. Comportamiento de la lluvia y el nivel piezométrico de 2016 y 2017

Figura 3. Comportamiento de la lluvia y el nivel piezométrico de 2018 y 2019

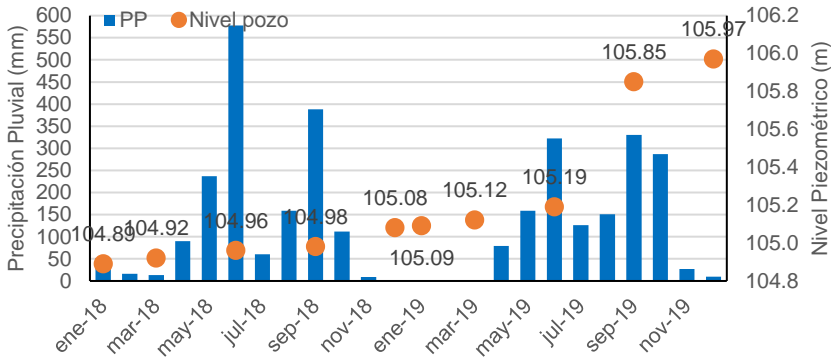
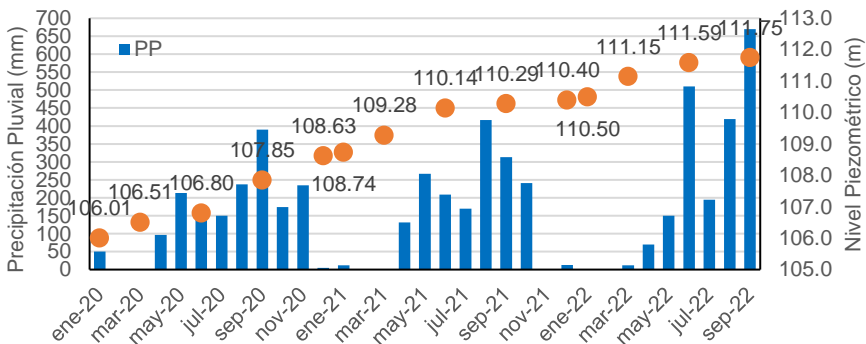


Figura 4. Comportamiento de la lluvia y el nivel piezométrico de 2020, 2021 y 2022



3.3 Análisis del comportamiento de los niveles piezométricos

Los datos recabados de los niveles estáticos del pozo Jagüey Este (pozo C-2), se resumen en el cuadro 2. Los mismos fueron representados en gráficos de líneas para una mejor visualización del descenso de nivel. En las Figura 5 se observa que del año 2010 a 2018 las fluctuaciones del nivel se mantuvieron dentro del rango de centímetros alrededor de los 104 metros de profundidad, que es lo normal en acuíferos semiconfinados. A partir de septiembre del año 2019 se inició el incremento del nivel

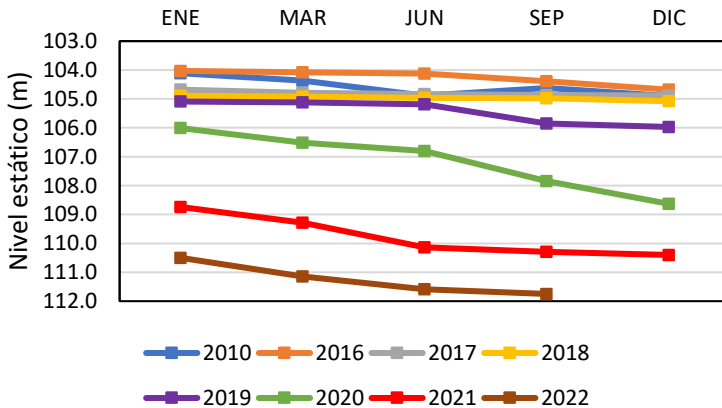
piezométrico en más de un metro superando los 105 metros de profundidad, lo cual se asocia a la construcción del campo de golf en el Cerro El Pulté y el inicio de urbanizaciones en esta área.

En el año 2020 se presentó una gran disminución del nivel piezométrico de más de 3 metros, llegándose a superar los 108 metros de profundidad. Este patrón se incrementó en los años 2021 que superó los 110 metros y 2022 con niveles mayores de 111 metros, generado por la habilitación y funcionamiento del pozo La Cruz en el Cantón Los Encuentros (pozo C-4) a 2 km de distancia al oeste.

Cuadro 2. Niveles piezométricos observados en el pozo Jagüey Este, Canalitos

Nivel estático en metros						
Año	ENE	MAR	JUN	SEP	DIC	Media
2010	104.11	104.37	104.89	104.62	104.90	104.58
2016	104.03	104.08	104.12	104.39	104.68	104.26
2017	104.68	104.79	104.83	104.87	104.88	104.81
2018	104.89	104.92	104.96	104.98	105.08	104.97
2019	105.09	105.12	105.19	105.85	105.97	105.44
2020	106.01	106.51	106.80	107.85	108.63	107.16
2021	108.74	109.28	110.14	110.29	110.40	109.77
2022	110.50	111.15	111.59	111.75		111.25

Figura 5. Variación del nivel piezométrico del pozo Jagüey Este, Canalitos



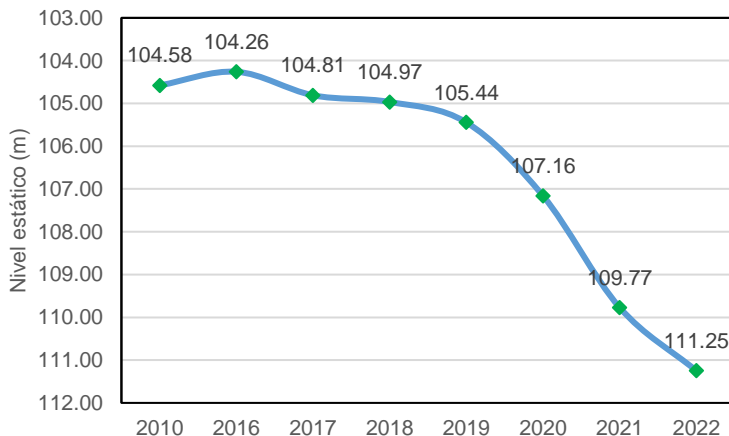
3.4 Afectación del recurso hídrico subterráneo

En el período del año 2010 a 2016 no existió un cambio significativo del nivel estático en el pozo Jagüey Este (pozo C-2) en el sector de Canalitos. Sin embargo, la comparación de niveles piezométricos del registro de los años del 2016 a 2022, de acuerdo con los valores medios anuales, determinó que se ha registrado una disminución significativa del nivel estático desde el año 2019 al año 2022 (Figura 6). Las disminuciones registradas fluctúan en 1.72 metros entre 2019 y 2020, 2.61 metros entre 2020 y 2021, y 1.48 metros entre 2021 y 2022. En todo el registro se tiene una disminución del nivel piezométrico de 7 metros, del año 2016 a 2022, es decir, de 1 m/año.

Esto es congruente con lo reportado por Morales (2012), que determinó para el pozo Jagüey, en funcionamiento, en el periodo de 2000 a 2007, un descenso de nivel de 8.65 m, es decir, 1.08 m/año, cuando en la microcuenca extraían agua 5 pozos.

Las grandes oscilaciones pueden ser debidas a la estacionalidad de los bombeos, recarga o variaciones en la explotación y pueden variar de 1 a 20 metros según la amplitud de las extracciones (Escuder et al, 2009).

Figura 6. Comportamiento medio anual del nivel piezométrico del pozo Jagüey Este



En el área de la microcuenca del río Agua Tibia y en el Sector de Canalitos Zona 24 al noreste de la ciudad de Guatemala, se observa un incremento en la explotación del agua subterránea originada, principalmente, por la construcción de proyectos habitacionales privados, el campo de golf El Pulté y la habilitación del pozo La Cruz del Cantón Los Encuentros (pozo C-4).

Analizando la variación de niveles piezométricos de 1 m/año, se determina que la extracción de caudales de los pozos supera la recarga hídrica anual de 0.063 m/año, causando un desbalance hídrico y un efecto negativo por la sobre extracción de agua del acuífero.

Esto amerita advertir, por un lado, a las autoridades del servicio como EMPAGUA y a los comités de vecinos como COCODES para elaborar proyectos y programas para proteger e incrementar las áreas de recarga hídrica y realizar obras de captación de agua de lluvia y la construcción de pozos de inyección.

4. CONCLUSIÓN

La caracterización hidrogeológica de la microcuenca del río Agua Tibia en el sector de Canalitos, zona 24, en el municipio de Guatemala, identifica un acuífero volcánico en tobas fracturadas con espesor mayor de 200 metros y una zona no saturada de 100 metros.

Los parámetros hidrogeológicos del acuífero son: coeficiente de almacenamiento de 1.98×10^{-2} que define un acuífero semiconfinado, una transmisividad de 542 m²/día y una conductividad hidráulica media de 2.71 m/día.

La comparación de los niveles piezométricos junto a las precipitaciones mensuales del período 2016 a 2022, ha permitido observar que existe una respuesta del nivel estático a los eventos de lluvia, principalmente de los meses de junio y septiembre donde se presentan las mayores precipitaciones mensuales y la recarga hídrica en el área del Cerro El Pulté.

En los años 2010 a 2018 las fluctuaciones del nivel piezométrico se mantuvieron dentro del rango de centímetros alrededor de los 104 metros de profundidad. A partir de septiembre del año 2019 se inició el incremento del nivel piezométrico en más de 1 metro superando los 105 metros de

profundidad, lo cual se asocia a la construcción del campo de golf en el Cerro El Pulté y el inicio de urbanizaciones en esta área.

En el año 2020 se presentó una gran disminución del nivel piezométrico de más de 3 metros, llegándose a superar los 108 metros de profundidad. Este patrón se incrementó en los años 2021 que superó los 110 metros y 2022 con niveles mayores de 111 metros, generado por la habilitación y funcionamiento del pozo La Cruz en el Cantón Los Encuentros a 2 km de distancia al oeste.

La variación de niveles piezométricos de 1 m/año, determina que la extracción de caudales de los pozos supera la recarga hídrica anual de 0.063 m/año, causando un desbalance hídrico y un efecto negativo por la sobre extracción de agua del acuífero.

Para aumentar la disponibilidad de agua subterránea anual, es necesario realizar programas y proyectos de recarga natural y artificial, por medio de la reforestación, cosecha del agua de lluvia y la construcción de pozos de inyección al acuífero.

5. REFERENCIAS

- Custodio, E., y Llamas, R. (2001). Hidrología subterránea. Omega Ediciones. Barcelona. p.1157.
- Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Ribera, F., Sánchez-Vila, X., y Vásquez-Suñé, E. (2009). Hidrogeología, conceptos básicos de hidrología subterránea. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS). Barcelona. p.768.
- Fetter, C. (1980). Applied Hydrogeology. (3ª ed.). New York. p.654.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., y Paris, M. (2003). Protección de la calidad del agua subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Una contribución para hacer más visible al agua subterránea y así más manejable. Banco Mundial. Washington, D.C. p.115.

- Herrera, I. (2012). Estudio hidrogeológico de la subcuenca del río Los Ocotes para determinar las áreas principales de recarga hídrica e identificación de las áreas vulnerables a deslizamientos e inundaciones para proponer alternativas de prevención de la parte noreste de la Ciudad de Guatemala. Informe Final proyecto FODECY 035-2009. Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología, Guatemala. p.123.
- Herrera, I. y Herrera, C. (2021). Determinación del tipo de acuífero de la ciudad de Guatemala para la definición correcta de su vulnerabilidad intrínseca. Revista Tikalia, 40 (2), 11-27.
- Herrera, I. y Orozco, E. (2010). Hidrogeología de Ojo de Agua, cuenca sur de la ciudad de Guatemala. Revista Geológica América Central, 42, 85-98.
- Herrera, I., Manzo, D., y Hernández, E. (2016). Estudio hidrogeológico de los acuíferos volcánicos de la República de Guatemala. Informe Final proyecto DIGI - FAUSAC. Universidad de San Carlos de Guatemala. p.120.
- Morales, J. (2012). Evaluación del descenso del nivel freático en la parte norte del acuífero metropolitano en el valle de Guatemala [tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala].



El cálculo de biodiversidad. Parte II. Diversidad beta y gamma

José Vicente Martínez Arévalo ¹

Recibido el 25 de agosto de 2023.

Aprobado el 12 de octubre de 2023.

¹ Ingeniero Agrónomo, Doctor, Profesor jubilado de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

RESUMEN

A partir de una amplia revisión de literatura, se hace un análisis del cálculo de la diversidad beta (β) y de la diversidad gamma (γ). Se muestra la complejidad del cálculo de la diversidad beta desde la concepción inicial de Whittaker en 1960, y las múltiples propuestas para su estimación, que posteriormente se han presentado por varios autores. Para buscar claridad se presenta el aporte realizado por varios investigadores al evaluar las fórmulas propuestas y mostrar la manera más adecuada de uso de esos parámetros, que deben ir acordes a los objetivos que se persigan en el cálculo de diversidad beta. Las dos maneras principales donde se mide la diversidad beta es a partir de gradientes ambientales y del cálculo de la diversidad en varias muestras en una región, que no están dispuestas en ejes ambientales. Las formas más utilizadas en el cálculo son los índices de similitud, disimilitud y distancia, los hay para valores de presencias-ausencia y valores de abundancia. A partir del cálculo de múltiples pares de parcelas se produce lo que se conoce como matriz mitad que sirve de partida para aplicar métodos multivariantes que contribuyendo la interpretación de estructura y función de comunidades. Se puede concluir que en el cálculo de la diversidad beta se debe tener claro el objetivo que se persigue para seleccionar la mejor forma de cálculo y dentro de esto los índices de similitud, disimilitud y distancia son los de mayor uso. Con estas herramientas, las propiedades que tiene el cálculo de la biodiversidad beta con relación a su utilidad en los ecosistemas, pueden ser aprovechadas de la mejor manera. En el caso de la diversidad gamma, su comprensión es sencilla ya que su cálculo contempla la inclusión de la diversidad alfa y beta de una manera multiplicativa o bien sumativa. Así mismo se considera que los cálculos que se realicen para determinar la diversidad alfa aplican para la diversidad gamma. Esta revisión puede ayudar a comprender el amplio valor que tiene la adecuada interpretación de los valores de biodiversidad en el manejo y conservación de ecosistemas.

Palabras clave: Índice de Jaccard, Índice de Sorensen, Índice de Morisita, Partición de diversidad beta, reemplazamiento de especies.

ABSTRACT

From an extensive literature review, an analysis of the calculation of beta diversity (β) and gamma diversity (γ) is made. The complexity of calculating beta diversity since Whittaker's initial conception in 1960 is shown, as well as the multiple proposals for its estimation that have subsequently been presented by various authors. In order to clarify this confusion, the contribution made by several researchers is presented when evaluating the proposed formulas and showing the most appropriate way of using these parameters, which must be consistent with the objectives pursued in the calculation of beta diversity. The two main ways beta diversity is measured is from environmental gradients and by calculating diversity in several samples in a region that are not arranged along environmental axes. The forms most used in the calculation are the indices of similarity, dissimilarity and distance, there are for values of presence-absence and values of abundance. From the calculation of multiple pairs of plots, what is known as a half matrix is produced, which serves as a starting point to apply multivariate methods that contribute to the interpretation of community structure and function. It can be concluded that in the calculation of beta diversity the objective pursued must be clear in order to select the best form of calculation and within this the similarity, dissimilarity and distance indices are the most widely used. With these tools, the properties of the calculation of beta biodiversity in relation to its usefulness in ecosystems can be used in the best way. In the case of gamma diversity, it is easy to understand since its calculation contemplates the inclusion of alpha and beta diversity in a multiplicative or summative manner. Likewise, it is considered that the calculations carried out to determine alpha diversity apply to gamma diversity. This review can help to understand the broad value of the proper interpretation of biodiversity values in the management and conservation of ecosystems.

Key Words: Jaccard Index, Sorensen Index, Morisita Index, Beta Diversity Partition, Species Replacement.

1. INTRODUCCIÓN

En un artículo de revisión anterior (Martínez y Arévalo, 2022) se desarrolló el tema de la diversidad alfa. En ese documento se realizó una revisión del porqué del cálculo de la biodiversidad, por lo tanto, en la presente revisión se abordará directamente los aspectos de la diversidad beta (β) en toda su complejidad y se complementa con un abordaje sencillo de la diversidad gamma (γ) derivado del propio análisis de la diversidad alfa y beta.

El cálculo de biodiversidad beta tiene importancia para entender cómo funcionan los ecosistemas, por ejemplo, en la conservación de la biodiversidad (Socolar et al, 2016) y el manejo de ecosistemas, pues puede usarse para describir la distribución de la diversidad de especies en el espacio y/o el tiempo (Jurasinski et al., 2009). Barwell et al. (2015) hacen una extensa revisión de los principales usos del cálculo de diversidad beta; en el caso de la relación con los gradientes ambientales y espaciales, mencionan que sirve para desentrañar el ensamblaje comunitario y los impulsores de los patrones de biodiversidad a escala global. Las medidas empíricas de la diversidad β se pueden usar para delinear regiones bióticas y para informar la configuración óptima de las reservas de diversidad. Los valores de diversidad β se han utilizado también para evaluar las implicaciones a escala del paisaje de la gestión agrícola y para evaluar los efectos del cambio ambiental en la homogeneización biótica (Barwell et al., 2015).

La medida de diversidad alfa (α) se define como la diversidad existente en un hábitat o comunidad (es la diversidad de cada unidad de estudio, ya que cuando en un área se hacen varias parcelas cada una se considera como una comunidad), en tanto que el valor de la diversidad beta se interpreta como la diversidad existente entre comunidades (Whittaker et al., 2001).

Para comprender mejor el significado de diversidad beta se puede plantear desde dos aspectos. El primero, a través de un gradiente en el cual se puede medir el recambio de especies que hay entre comunidades (Whittaker, 1960), por ejemplo, en el gradiente altitudinal de una montaña, la variación en composición de especies de una comunidad a otra conforme se asciende. La otra interpretación es cuando se tienen varias comunidades en un paisaje que no están ubicadas en un gradiente, en ese caso el valor de la diversidad beta es una comparación entre las comunidades. Lo más utilizado para su cuantificación son índices de similitud, disimilitud o de distancia

(Whittaker, 1972), de tal forma que su representación puede realizarse por medio de una matriz de doble entrada (comunidades x comunidades).

La diversidad gamma fue definida por Whittaker (1960) como el tercer nivel de biodiversidad, expresa la diversidad a nivel de una región. Con base en Whittaker (1972) la diversidad total o gamma de un paisaje, o área geográfica, es producto de la diversidad alfa de sus comunidades y el grado de diferenciación beta entre ellas; con base en esto el cálculo de diversidad beta se hace a partir de los valores promedio de diversidad alfa y el valor de diversidad gamma. La diversidad alfa y gamma tienen las mismas características y pueden calcularse de la misma manera, por ejemplo, por su riqueza, lo que cambia es la escala, sin embargo, en el estudio de diversidad la escala es relativa y va a depender del organismo que se estudie (Tuomisto, 2010a).

Se ve en esto la estrecha relación entre diversidad gama, beta y alfa, y pareciera que el orden lógico del cálculo de biodiversidad para una región sería: cálculo de la diversidad alfa en cada parcela, cálculo de la diversidad gamma, como una sumatoria de la riqueza de todas las parcelas y a partir de esto calcular la diversidad beta como la relación entre diversidad gamma/alfa, sin embargo, en ecología ha predominado el uso y cálculo de la diversidad alfa y beta por separado. La propuesta realizada por varios autores, entre ellos Lande (1996), Pereyra y Moreno (2013) y Baselga y Gómez-Rodríguez (2019) es la partición de la biodiversidad considerando los tres valores mencionados anteriormente, donde hay dos formas de realizarla: una multiplicativa y otra sumativa, ambas se discutirán en este documento.

El objetivo de este artículo es realizar una revisión de los principales conceptos alrededor del cálculo de la diversidad beta y gama, de tal forma que, junto con lo ya expuesto en un artículo anterior sobre diversidad alfa, se tengan los elementos para la aplicación y adecuada interpretación de estos parámetros que sirvan en el manejo y conservación de la biodiversidad. Además, aclarar muchas confusiones y malas interpretaciones que se dan al cálculo de la diversidad beta.

2. DESARROLLO

Para el adecuado tratamiento de cómo se calcula la diversidad beta se puede partir de que hay dos escenarios donde se aplica esta medida: 1) en gradientes espaciales, ambientales o temporales (rotación en la estructura de la comunidad o recambio de especies) y 2) en parcelas distribuidas al azar (no direccional) en un paisaje o región (variación en la estructura de la comunidad) (Whittaker, 1972; Tuomisto, 2010a, Tuomisto 2010b, Anderson et al., 2011). La medida de diversidad beta compara entre comunidades, es el segundo nivel que Whittaker (1960) reconoce. La diversidad beta refleja la diferencia entre comunidades bióticas, lo cual puede deberse a dos fenómenos importantes de señalar: a) el reemplazamiento entre sitios o comunidades de unas especies por otras y b) la pérdida de especies (o ganancia) entre dos sitios, reconocida como anidamiento (Baselga y Gómez-Rodríguez, 2019).

Desde un inicio se debe indicar que el cálculo de la diversidad beta es un aspecto complejo, significa diferentes cosas para diferentes investigadores; tiene una naturaleza multifacética que hace que sea difícil describirla completamente con una definición simple (Jurasinski et al. 2009). Estos autores hacen una revisión de la importancia de la diversidad beta, y aunque reconocen que existe un desacuerdo sustancial sobre la conceptualización y evaluación de la biodiversidad entre los ecólogos, indican que la diversidad beta es clave para; a) entender cómo funcionan los ecosistemas, b) la conservación de la biodiversidad y c) el manejo de ecosistemas, pues puede usarse para describir la distribución de la diversidad de especies en el espacio y/o el tiempo. Estos autores sugieren, en su trabajo, ordenar las diferentes interpretaciones de diversidad beta, por lo tanto, proponen utilizar los términos "diversidad de inventario" para la diversidad dentro de la muestra, "diversidad de diferenciación" para la similitud de composición entre muestras y "diversidad proporcional" para la comparación de la diversidad del inventario a través de escalas espaciales y temporales (Jurasinski et al. 2009). Moreno y Rodríguez (2010), mencionan que, aunque el esfuerzo de Jurasinski et al. (2009) es limitado es un buen punto de partida para una revisión en profundidad de los conceptos y métodos disponibles.

Debido a la complejidad del concepto de diversidad beta, se han realizado varios esfuerzos para ordenar mejor su comprensión, Tuomisto (2010a) al notar las variantes que se han utilizados por los ecólogos, propone una nomenclatura alternativa para los siete componentes beta más populares:

relación de diversidad regional a local, relación de diversidad bidireccional, rotación efectiva absoluta de especies (exceso de diversidad regional), rotación efectiva de especies de Whittaker, rotación efectiva proporcional de especies, exceso de entropía regional y exceso de varianza regional.

En los resultados de investigaciones, se han introducido una cantidad alta de medidas de diversidad beta, sin embargo, no existe un consenso general sobre cuáles son las más apropiadas para abordar cuestiones ecológicas particulares (Anderson et al., 2010).

Para comprender mejor las medidas de biodiversidad se debe iniciar con la concepción que Whittaker (1960) le otorgó. Este autor definió tres tipos de medidas de la diversidad: la diversidad alfa (α) que comprende la diversidad local o de una muestra (sitio, parcela, transecto, etc.) dentro de un paisaje o una comunidad; la diversidad beta (β) como el cambio en especies que se produce de una comunidad a otra, en ese sentido el concepto de semejanza es el más utilizado por los ecólogos y por esto se calcula la similitud, disimilitud o distancias; y la diversidad gamma (γ) como la diversidad regional. Entonces el autor indica que el valor de la diversidad beta es la relación entre la diversidad de especies regional y local, partiendo que la diversidad gamma es igual a la diversidad local o regional (promedio de los valores medidos en parcelas) por la diversidad beta: $\gamma = \alpha * \beta$.

De acuerdo con esta fórmula puede haber una sobreestimación en el valor de la diversidad gamma, cuando la diversidad beta comparte especies entre las comunidades, sin embargo, en la práctica esta expresión no se utiliza para el cálculo de diversidad gamma, sino que ha sido transformada para calcular la diversidad beta. No obstante, la diversidad gamma como producto de las diversidades alfa y beta se arraigó firmemente en la ecología y sigue siéndolo hoy (Veech et al. 2002).

Anderson, et al. (2011) proponen como métricas clásicas $\beta = \gamma/\alpha$ (mencionada también como partición multiplicativa) definida por Whittaker (1960), la interpretación es que la diversidad beta cuantifica cuántas subunidades (comunidades) habría si la diversidad total de especies del conjunto de datos y la diversidad media de especies por subunidad siguieran siendo las mismas, pero con la condición de que las subunidades no compartieran especies. En palabras de Anderson et al. (2011) es el número de veces que la riqueza en una región es mayor que la riqueza promedio en las unidades de menor escala. En la interpretación de Calderón-Patrón et al. (2012) “corresponde a cuántas veces es más rica en

especies una base de datos completa (diversidad γ o regional) que la riqueza que las unidades tienen en promedio (diversidad α promedio o local)". Si se calcula el recíproco, de ese valor, se obtiene el índice de similitud (Jurasinski et al. 2009).

Se llama cambio o rotación absoluta de especies cuando en lugar de $\gamma = \alpha * \beta$ se prefiere separar la diversidad gamma en componentes aditivos $\gamma = \alpha + \beta$, al respecto Veech et al. (2002) indican que esta manera fue redescubierta a finales del siglo XX y que la diversidad beta ya no solo se conceptualiza como el cambio de especies a través de un gradiente, de esta manera es explícitamente una cantidad promedio de diversidad. De tal forma que, a partir de los componentes aditivos, la diversidad beta estaría dada por $\beta A = \gamma - \alpha$ (conocido también partición aditiva); en este caso la interpretación sería, cuánta más diversidad de especies contiene el conjunto de datos completo que una subunidad promedio dentro del conjunto de datos. Esto también se puede interpretar como la cantidad total de rotación de especies entre las subunidades en el conjunto de datos (Tuimisto, 2010a). Dicho de otra manera, se puede definir como la cantidad promedio de diversidad que no se encuentra en una sola muestra elegida al azar (Veech et al. 2002); pero como reconocen estos autores, esta manera de calcular la diversidad beta, no es explícita en reconocer las diferencias entre muestras o comunidades (es decir entre las diversidades alfa), que es la intención original del cálculo de la diversidad beta.

En la partición aditiva o multiplicativa, expresada como se indica arriba, podría existir dependencia entre los valores alfa y beta, para esto Chao et al. (2012) proponen transformaciones, que demuestran la independencia matemática y estadística de la diversidad alfa y beta (Pereyra y Moreno, 2013). Para explicarlo mejor: a) el valor del componente α depende solamente del número de especies dentro de cada grupo o comunidad, y no de cuántas especies comparten los grupos entre sí; b) el componente β depende de la proporción de especies compartidas entre grupos, y no de la riqueza de especies de estos grupos.

De esta forma, al aplicar las transformaciones Chao et al. (2012), muestran que la diversidad beta multiplicativa como la beta aditiva transformada conducen a las mismas clases de medidas, que siempre están en un rango de (0, 1) para lo cual se puede hacer uso de índices de similitud o disimilitud.

Además del cálculo de diversidad beta como partición multiplicativa, Whittaker (1960, 1977) propone el uso de una diferencia porcentual y el de índices de similitud. Respecto al primero se definen las unidades de cambio medio (UCM). Un cambio medio se

define como la distancia necesaria para reducir la similitud entre comunidades en un 50%, se asume que la diversidad beta disminuye la similitud en la composición de especies conforme la distancia aumenta entre las comunidades. La distancia en la cual la diversidad disminuye el 50% (o aproximado) constituye una unidad de cambio medio, esto es lo que se considera la medida de diversidad beta de ese gradiente.

De las consideraciones anteriores se nota una tendencia a comprender la diversidad beta como recambio a través de un gradiente, sin embargo, autores como Baselga (2010) consideran a la diversidad beta igual a recambio más anidamiento. El anidamiento es un análisis utilizado en biogeografía y fue propuesto para describir patrones de composición de especies entre biotas continentales y entre hábitats aislados, como islas o paisajes fragmentados y el anidamiento ha sido atribuido a tasas diferenciales de extinción y colonización; en general, a mayor distancia entre regiones o mayor fragmentación, menor es el anidamiento.

En un sistema anidado, la composición de especies en ensamblajes pequeños es una submuestra de la composición de especies de ensamblajes grandes, como sucede en regiones fragmentadas (Calderón-Patrón et al. 2012), donde la composición de especies en las parcelas puede percibirse como variaciones ordenadas de extinción y colonización a lo largo de gradientes ambientales o biológicos de los parches bajo estudio. La propuesta de Baselga (2010) para medir la diversidad beta total dividida en dos componentes, recambio y anidamiento, es la siguiente: la diversidad beta total se calcula con el índice de disimilitud de Sorensen, el componente de recambio con el índice de Simpson para pares de comunidades y aplicando una partición aditiva de la diversidad β , tanto para pares de sitios como para múltiples sitios, que es lo que denomina β nes calcula el anidamiento

El uso de índices de similitud para el cálculo de la diversidad beta es el más conocido y difundido, hay bastantes coeficientes para su cálculo, que dan como resultados índices de similitud, disimilitud o de distancia (Moreno, 2001). Estas aplicaciones han sido analizadas y llevadas a propuestas estadísticas más completas, como la de Tuomisto (2010b), que han contribuido a comprender mejor los planteamientos iniciales de Whittaker. La base en la aplicación de índices de similitud, disimilitud o distancias se puede notar en las propuestas originales de Whittaker:

a) Rotación de especies de Whittaker

$$\beta W = (\gamma - \alpha) / \alpha, \text{ o bien } \beta W = \gamma / \alpha - 1$$

Medida que cuantifica cuántas veces cambia completamente la composición de especies entre las subunidades del conjunto de datos. Cuando hay dos subunidades y se utilizan datos de presencia-ausencia, esto

es igual al complemento de 1 del índice de similitud de Sorensen que se tratará más adelante.

b) Rotación proporcional de especies

$$\beta P = (\gamma - \alpha) / \gamma =, \text{ o bien } \beta P = 1 - \alpha / \gamma$$

Se obtiene una medida que cuantifica qué proporción de la diversidad de especies en el conjunto de datos no está contenida en una subunidad promedio. Cuando hay dos subunidades y se utilizan datos de presencia-ausencia, esta medida en el intervalo [0, 1] es igual al complemento de 1 del índice de similitud de Jaccard que se tratará más adelante.

Un enfoque moderno que se da a la partición en el cálculo de la diversidad beta es el obtener resultados multivariados de clasificación y ordenación, esto solo es mencionado en este documento, pero puede encontrarse mayor información en las discusiones de Tuomisto, & Ruokolainen (2006), Legendre, (2008), Anderson et al. (2011) y otros autores. En su aplicación para ecosistemas acuáticos, consultar a Sanches et al, (2011). Legendre et al. (2005) han trabajado en enfoques multivariados y uno propuesto es el llamado de “datos crudos” (raw data approach), en donde la información inicial del análisis es una tabla con los datos de abundancia por especie de cada sitio de muestreo (datos crudos), y otra tabla con medidas de variables ambientales en los mismos sitios de estudio. Este segundo enfoque permitió a Legendre et al. (2005) generar un concepto de β diferente, definiéndola como “la varianza en la composición de especies entre sitios en una región geográfica”.

Otros enfoques del uso de la diversidad beta, es como el propuesto por Chao et al. (2005) sobre la estimación de especies en muestreos que se consideran insuficientes, permite estimar cuántas especies faltan por registrar en cada comunidad, y cuántas de éstas podrían compartirse entre comunidades, derivando así estimadores del cambio en la composición de especies entre dos comunidades.

Jost (2006) promueve el uso de lo que llama diversidad verdadera que, en resumen, consiste en que la diversidad β se obtiene cuando el número efectivo total de especies en un conjunto de datos (diversidad γ verdadera) se divide entre el número efectivo

de especies promedio de las muestras (diversidad α verdadera). De esta manera, la diversidad β verdadera tiene una interpretación uniforme, independientemente de cuál

sea el índice de diversidad usado para diversidad alfa (Simpson o Shannon por ejemplo). La diversidad β mínima posible es una comunidad efectiva, cuando todas las comunidades son exactamente iguales, mientras que el número máximo posible es igual al número de comunidades totales N,

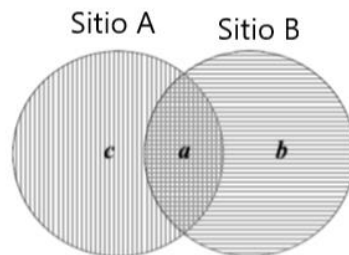
cuando todas ellas son completamente diferentes en su composición de especies (Jost, 2006, 2007).

Luego de las consideraciones teóricas sobre el concepto de la diversidad beta, queda claro que una de las formas más comunes de su cálculo es por medio de índices de similitud, disimilitud y distancia. Hay varios índices que se han desarrollado, Koleff et al. (2003) hacen una revisión de los principales índices utilizados con datos de ausencia presencia. Los datos de ausencia presencia son los más usados en el cálculo de diversidad beta por la facilidad de manejo de base de datos y aunque se parta de datos de abundancia fácilmente se puede convertir una matriz a datos de presencia-ausencia (1,0).

De acuerdo con lo discutido, lo inicial es tener claro el objetivo que se persigue con el cálculo de la biodiversidad beta y a partir de aquí escoger de mejor manera el índice que se utilizará. Autores como (Calderón-Patrón et al. 2012) recomiendan utilizar soló un índice cuando se realicen una investigación para evitar confusiones.

Koleff et al. (2003) en su revisión de índices de ausencia presencia, indican 24 índices, que consideran las medidas de diversidad beta en términos de componentes coincidentes/no coincidentes. Es importante tomar en cuenta los convencionalismos considerados en las fórmulas para el cálculo de índices de diversidad beta, se entiende que, a corresponde a las presencias en ambas comunidades, b a las presencias en la comunidad B y c las presencias en la comunidad A y, como se puede notar en la Figura 1. Cabe anotar que en ocasiones ese convencionalismo se cambia, en cuyo caso lo único que se debe tener precaución de saber quién es a , b y c , para hacer los cálculos.

Figura 1. La distribución de especies entre dos comunidades, a especies comunes a ambas comunidades, b especies presentes en el sitio (comunidad) B y c especies presentes en el sitio (comunidad) A.



Tomado de: Koleff et al. (2003)

Esto corresponde a la comparación de pares de comunidades, en el caso que se tengan que hacer múltiples comparaciones porque el área de estudio comprende más de dos comunidades, el resultado obtenido para cada pareja se puede expresar en lo que conoce como matriz mitad o matriz espejo (Figura 2), compuesta por las comunidades en filas y columnas y el cuerpo de la matriz por los valores obtenidos, siendo la diagonal 1 cuando se usa similitud y 0 cuando se usa disimilitud (1-similitud) o índice de distancia. Muchas veces los cálculos se hacen como similitud, sin embargo, lo correcto es hacerlo como disimilitud pues así se puede interpretar de manera más adecuada los resultados, ya que están expresando directamente el grado de renovación de especies entre comunidades (Calderón-Patrón y Moreno, 2019). Posiblemente la costumbre del uso de la similitud se deba a que varios índices tienen su origen antes de la aparición del concepto de diversidad beta. En la Figura 2 se presenta el modelo general de matriz mitad o espejo, que se genera del cálculo de diversidad beta de varias comunidades a la vez.

		Comunidad					
		A	B	C	D	. . .	t
Comunidad	A	S_{11}					
	B	S_{12}	S_{22}				
	C	S_{13}	S_{23}	S_{33}			
	D	S_{14}	S_{24}	S_{34}	S_{44}		

t	S_{1t}	S_{2t}	S_{3t}	S_{4t}	. . .	S_{tt}	

Modificado de: Crisci y López (1983)

Figura 2. Matriz mitad o espejo. S_{12} corresponde a la similitud o disimilitud entre las comunidades A y B. La similitud entre A y B es la

misma que la de B y A por lo que la parte inferior es espejo de la parte superior, por esta razón solo se escribe la parte inferior. Note que la diagonal es la similitud de la misma comunidad por lo que los valores serán la máxima similitud (1) o disimilitud (0).

De los 24 índices referidos en el documento de Koleff et al. (2003), el más utilizado según una revisión de 60 artículos científicos por estos autores, es el de Whittaker (β_w). Ahora los más conocidos, aunque no lo más utilizados (están entre los primeros diez más utilizados) son el índice de Jaccard (β_j) (Jaccard, 1908) y el índice de Sorensen (β_{sor}) (Sørensen, 1948). De tal forma que únicamente de esos tres se presentarán sus fórmulas, para conocer los otros puede verse el artículo de Koleff et al. (2003).

$$\text{Similitud } \beta_w \text{ sim} = \frac{a+b+c}{(2a+b+c)/2} \quad \text{Disimilitud } \beta_w \text{ dis} = \frac{a+b+c}{(2a+b+c)/2} - 1$$

$$\text{Similitud Jaccard } \beta_j \text{ sim} = \frac{a}{a+b+c} \quad \text{Disimilitud Jaccard } \beta_j \text{ dis} = \frac{b+c}{a+b+c}$$

$$\text{Similitud Sorensen } \beta_{sor} = \frac{2a}{2a+b+c} \quad \text{Disimilitud Sorensen } \beta_{sor} \text{ dis} = \frac{b+c}{2a+b+c}$$

Se incluyen las fórmulas propuestas por Baselga (2010) de partición de la diversidad beta en sus componentes reemplazo y anidamiento.

- En primer lugar, se calcula la diversidad total por el índice de disimilitud de Sorensen (β_{sor}) con la fórmula indicada arriba.
- Luego se calcula la disimilitud de Simpson por pares con la siguiente fórmula

$$\beta_{\text{sim}} = \frac{\min(b,c)}{a+\min(b,c)}$$

- Al final el anidamiento se calcula como $\beta_{nes} = \beta_{sor} - \beta_{sim}$ por medio de la siguiente fórmula

$$\beta_{nes} = \frac{\max(b,c) - \min(b,c)}{2a + \min(b,c) + \max(b,c)} \times \frac{a}{a + \min(b,c)}$$

Del cálculo de la diversidad por pares de parcelas con el uso de índices, se conforma la matriz mitad (Figura 2), a partir de la cual se puede hacer la interpretación. Cuando se usa disimilitud, los valores cercanos a cero son

los que tienen mayor parecido, es decir los que tienen menor reemplazo o rotación de especies. Esa comparación se puede hacer entre parcelas continuas o bien a lo largo de estas, si el orden de las parcelas corresponde a una gradiente ambiental o geográfica, la interpretación se hace para establecer el recambio, se puede establecer a qué distancia se produce el cambio del 50% y determinar cómo el parecido es menor con la distancia. Cuando se trata de parcelas sin un gradiente la interpretación debe ser en cuanto a la similitud o disimilitud encontrada.

Schmera et al. (2020), acuñan el concepto de componentes de patrón por pares (PPC por sus siglas en inglés) el cual tiene tres opciones: a) revelan si el proceso subyacente no tiene efecto (existencia de traslape), b) cambia la composición (reemplazo) o c) modifica la riqueza de especies (diferencia de riqueza). Con base en los PPC's, se propone una nueva partición de la diversidad beta en la intersección de la anidación y la diversidad beta y el complemento relativo de la anidación en la diversidad beta (SET). Ellos, efectuaron una evaluación algebraica de dos propuestas de partición beta de otros autores y la SET que ellos proponen, de estas tres en dos (SET referida al anidamiento y POD referida al reemplazo) encontraron que detectan la presencia y el tamaño adecuado de PPC para todo tipo de patrones comunitarios. Derivado de esto, se puede indicar que desglosar los patrones de la comunidad en PPC y luego cuantificar la importancia de estos PPC (por SET y POD) forman una estrategia sencilla para extraer información de los datos de la comunidad en una amplia gama de circunstancias.

Esto recuerda la propuesta de Tuomisto, & Ruokolainen (2006) respecto a la discusión de los dominios de aplicación del llamado enfoque de datos crudos en comparación con el enfoque de distancia para estudiar y probar hipótesis sobre patrones y determinantes de la diversidad beta, que fue comentada por Pélissier et al. (2008) donde se reconoce tres niveles de abstracción (1) datos de composición de la comunidad; (2) variación en los datos de composición de la comunidad o diversidad beta; o (3) variación en la diversidad beta, es decir, variación de los datos de composición de la comunidad que se ajusta a los tres niveles propuestos por Schmera et al. (2020) de: traslape, reemplazo y diferencia de riqueza.

En otras ocasiones para el cálculo de la diversidad beta se usan datos de abundancia. Estos datos, de acuerdo con Barwell et al. (2015), tiene características distintivas respecto al uso de datos de presencia-ausencia, tales como: A) los datos de abundancia son claramente más ricos en información que los datos de presencia-ausencia, y esto puede cambiar la forma en que interpretamos la variación espacial en la estructura del

conjunto. B) Para las métricas de presencia-ausencia, las únicas diferencias visibles entre los sitios están en las identidades de las especies, las medidas basadas en la abundancia detectan una variación más matizada ya que las especies que se observan en dos sitios pueden tener diferentes rangos de abundancia. Incluso cuando los rangos son los mismos, la uniformidad de las abundancias puede variar.

En consecuencia, con datos de abundancia, se distingue la sensibilidad a: (i) el recambio de especies, (ii) las diferencias de riqueza de especies (iii) los cambios de abundancia de rango y (iv) las diferencias de uniformidad como componentes distintos de la diversidad β (Barwell et al. 2015).

C) También se puede esperar que los índices basados en la abundancia sean más robustos al muestreo incompleto pues las diferencias estocásticas en especies raras son un artefacto del submuestreo, pero las métricas basadas en la abundancia están menos influenciadas por el recambio de especies raras que sus contrapartes de presencia-ausencia (Barwell et al. 2015).

Cuando se trabajan datos de abundancia (riqueza, cobertura, etc.) se utilizan los índices de distancia, en una revisión realizada por Barwell et al. (2015), donde analizaron 24 métricas por medio de distribución de series logarítmicas en R, se probaron 16 propiedades conceptuales (deseables) que son importantes para una métrica de diversidad β basada en la abundancia, cualquiera que sea la aplicación tales como: a) independencia de la diversidad α , b) el valor de β es acumulativo a lo largo de un gradiente de rotación de especies, c) la similitud es probabilística cuando los ensamblajes se distribuyen de manera independiente e idéntica, d) mínimo de cero, e) límite superior fijo, f) incremento monótono con rotación de especies, g) aumento monótono con el desacoplamiento de rangos de especies, h) aumento monótono con diferencias de uniformidad, i) β es más bajo para el desacoplamiento completo de rangos de especies que para el recambio completo de especies, j) β es menor para las diferencias de uniformidad que para el recambio completo de especies, k) simetría, l) asimetría doble cero, m) β no decrece en una serie de ensamblajes anidados, n) independencia de la replicación de especies, ñ) independencia de las unidades de abundancia, y o) independiente de diferencias en abundancia.

Se evaluaron también las siguientes propiedades de muestreo: imparcial por submuestreo e imparcial por esfuerzo de muestreo desigual. Además, cinco propiedades de personalidad: sensibilidad al anidamiento, sensibilidad relativa a los componentes de anidamiento y rotación de β , ponderación relativa de las diferencias de rotación y abundancia de especies y sensibilidad relativa al recambio de especies raras versus comunes.

El índice (métrica) mejor calificada fue la de Morisita (1959), por tal razón es la fórmula que se presenta en esta revisión.

$$\text{Índice de Morisita } \beta_m = 1 - \frac{2 \sum x_{ij}x_{ik}}{(\lambda_j + \lambda_k)N_jN_k}$$

Donde

x_{ij} Número de individuos de la especie i en el conjunto j

x_{ik} Número de individuos de la especie i en el conjunto k

$\lambda_i = \left[\frac{\sum [x_i(x_i - 1)]}{x_i(x_i - 1)} \right]$ = Índice de diversidad de Simpson para las muestras o conjuntos j y k que se están comparando.

N = número total de abundancias (individuos) en j y k

La fórmula del índice está expresada como disimilitud.

A partir de la comparación de múltiples pares de comunidades y construir la matriz mitad, se puede realizar el análisis multivariable utilizando el algoritmo adecuado de clasificación que da como resultado dendrogramas (Saiz, 1980) o bien como lo plantean Tuomisto y Ruokolainen (2006) de que los métodos de análisis multivariado que permiten estudiar cuestiones relacionadas con la diversidad beta incluyen el análisis canónico, análisis de correspondencia canónica y prueba de Mantel, que dan como producto gráficas de ordenación. Estos aspectos, no se desarrollan en este artículo, pues a pesar de que está conectado con la interpretación del cálculo de diversidad beta, está fuera del objetivo que se plantea esta revisión.

3. DISCUSIÓN

Es evidente que la medición de la diversidad beta es compleja y depende del objetivo del trabajo, pero esto ha dado paso para que a partir de la ya confusa definición de diversidad beta dada por Whittaker (1960) hayan proliferado muchas medidas para su cálculo. En esta revisión se ha procurado mostrar solo algunos de estos procedimientos, escogiendo aquellos de mayor uso y que además han sido evaluados por varias características lo que hace más sencillo, como usuario de los índices, para escogerlos al momento de realizar el cálculo de diversidad beta.

Es importante incluir en el cálculo de diversidad beta a las fórmulas de Baselga (2010) con respecto a la partición de la diversidad beta en recambio y anidamiento, pues esto le da un valor plus al cálculo de la

diversidad beta total al escudriñar qué porción de la diversidad beta es la que representa mejor entre pares de sitios y su interpretación a la luz de las condiciones ambientales de donde se tomaron los datos de campo.

El que existan múltiples ideas de lo que es la diversidad beta, puede estar relacionado con la importancia subyacente que tiene en la ecología, de aquí que cabe resaltar las aplicaciones que tiene la diversidad beta, por ejemplo, en el desarrollo del tema se describe la amplia revisión de Barwell et al. (2015), donde se hace énfasis en la aplicación más utilizada, que es la relación con los gradientes ambientales y espaciales, que sirve para desentrañar el ensamblaje comunitario y los impulsores de los patrones de biodiversidad a escala global. Otros ejemplos específicos son, el uso de la partición aditiva aplicada a mosaicos de paisajes agrícolas (Wagner et al. 2000) y el uso para el estudio de ensamblajes de comunidades a lo largo de regiones biogeográficas (Muñoz et al. 2021). En general el cálculo de la diversidad beta puede tener un valor muy importante en el ensamblaje de comunidades que es importante aprovechar.

Al parecer los cálculos con valores de presencia ausencia tienen mayor aplicación (Koleff et al. 2003), como se explica por la facilidad del manejo de las bases de datos, sin embargo, en contraposición (Barwell et al. 2015), exponen las bondades del uso de datos de abundancia. En ambos casos hay índices, como los que se exponen en esta revisión, que ayudan al cálculo de la diversidad beta, en todo caso, al seleccionar el uso de uno de ellos, se debe tener claro para que se están obteniendo esos valores, de tal forma que su aplicación e interpretación al ecosistema sean de utilidad y contribuyan en su conservación y/o manejo.

Hay aplicaciones amplias del uso del cálculo de la diversidad beta, que no llegan a explicarse en este documento, pero que es conveniente al menos señalarlas, por ejemplo, Ricotta, & Burrascano (2008) proponen el concepto de diversidad beta funcional que se calcula a partir de matrices de disimilitud funcional de parcela a parcela, que procura identificar al conjunto de especies que tienen una alta superposición funcional dentro del conjunto de especies al que pertenecen. Este nuevo enfoque de uso de la diversidad beta, se pone al día con el enfoque de funcionalidad de las especies que actualmente se está usando bastante en ecología. Otras aplicaciones incluyen la utilización de los valores de diversidad beta como base para posteriores análisis multivariados (Saiz, 1980) y en el cálculo de la biodiversidad beta verdadera Jost (2006).

En caso de la diversidad gamma a la luz de la complejidad de la diversidad beta, viene a presentarse de una forma sencilla y se puede definir de una manera multiplicativa o bien sumativa. Los cálculos que se realicen para determinar la diversidad alfa aplican para la diversidad gamma. Por lo tanto, en esta revisión no se discute tan ampliamente como en el caso de la diversidad beta.

La forma más sencilla de abordar el cálculo de la diversidad beta es por medio de índices de similitud, disimilitud o distancia. El resultado que se espera de un valor entre dos sitios o comunidades que refleje el recambio de especies, lo cual es más lógico de obtener por medio de la disimilitud, de tal forma que esta es la manera que se debe promocionar el uso del cálculo de diversidad beta, pues por costumbre se usa más la similitud. Hay varios programas estadísticos que tienen integrado el cálculo de diversidad beta o bien este se puede realizar utilizando el software libre R, donde se han generado procedimientos útiles para calcular la diversidad alfa, beta y gamma.

Se sugiere desde un inicio, abordar el tema de la biodiversidad beta desde su complejidad, de tal forma que cuando se utilicen los parámetros para su cálculo se hagan los cálculos de acuerdo con un objetivo claro que se persiga. Es conveniente sacar el mayor provecho de la información que nos puede representar su cuantificación y no hacerlo de una manera mecánica. Es aconsejable ensayar el uso de las nuevas propuestas del cálculo de diversidad beta, por ejemplo, el cálculo de la diversidad beta verdadera a partir del número efectivo de especies.

4. REFERENCIAS

- Anderson, M. J., Crist, T. O., Chase, J. M., Vellend, M., Inouye, B. D., Freestone, A., Sanders, N. J., Cornell, H. V., Comita, L. S., Davies, K. F., Harrison, S. P., Kraft, N. J. B., Stegen, J. C., & Swenson, N. G. (2011). Navigating the multiple meanings of β diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology Letters*, 14, 19-28.
- Barwell, J. L., Isaac, N. J. y Kunin, W. E. (2015). Measuring β -diversity with species abundance data. *Journal of Animal Ecology*, 84, 1112-1122. doi: 10.1111/1365-2656.12362

- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19, 134-143.
- Baselga, A., y Gómez-Rodríguez, C. (2019). Diversidad alfa, beta y gamma: ¿cómo medimos diferencias entre comunidades biológicas? *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 26, 39-45.
- Calderón-Patrón, J. M., Moreno, C. E. y Zuria, I. (2012). La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83, 879-891. Doi:10.7550/rmb.25510
- Calderón-Patrón, J. M. y Moreno, C. E. (2019) Diversidad beta basada en índices de disimilitud: Su partición en componentes de recambio y diferencias en riqueza. En: C. E. Moreno (Ed.) *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio* (pp. 203-222). Ciudad de México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex.
- Chao, A., Chazdon, R. L., Colwell R. K. y Shen, T. J. (2005). Un nuevo método estadístico para la evaluación de la similitud en la composición de especies con datos de incidencia y abundancia. In G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (eds.). Cap. 7 (pp. 85-96). *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma*. m3m-Monografías Tercer Milenio, vol. 4, Zaragoza: Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA)/ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Grupo Diversitas México y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Chao, A., Chiu, C. H., & Hsieh, T. C. (2012). Proposing a resolution to debates on diversity partitioning. *Ecology*, 93(9), 2037-2051.
- Crisci, J. V. y López Almengor, M. F. (1983). *Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica*, Monografía No, 26, serie biología. Washington, D. C.: Organización de Estados Americanos (OEA).

- 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.
- Jurasinski, G., Retzer, V. y Beierkuhnlein, C. (2009). Inventory, differentiation, and proportional diversity: a consistent terminology for quantifying species diversity. *Oecologia*, 159, 15-26.
- Koleff, P., Gaston, K. J., & Lennon, J. J. (2003). Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology*, 72, 367-382.
- Lande, R. (1996). Statistics and partitioning of species diversity and similarity among multiple communities. *Oikos* 76, 5-13.
- Legendre, P., Borcard, D., & Peres-Neto, P. R. (2005). Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. *Ecological Monographs*, 75, 435-450.
- Legendre, P. (2008). Studying beta diversity: ecological variation partitioning by multiple regression and canonical analysis. *Journal of Plant Ecology* 1(1), 3-8.
- Martínez-Arévalo, J. V. (2022). El cálculo de diversidad biológica. Parte I. Diversidad biológica alfa. *Tikalia*, 41(1), 48-62.
- Moreno, C. E. y Rodríguez, P. (2010). A consistent terminology for quantifying species diversity? *Oecologia*, 163, 279-282. DOI 10.1007/s00442-010-1591-7
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza: M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1.
- Morisita M. (1959). Measuring of the dispersion and analysis of distribution patterns. *Memoires of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series E. Biology* 2:215-235.

- Muñoz M., M., Tello, J. S., Macia, M. J., Myers, J. A., Jorgensen, P. M., Cala, V., Fuentes, A. F., Torrez, V. y Arellano, G. (2021). Mechanisms of community assembly explaining beta-diversity patterns across biogeographic regions. *J Veg Sci*. 32:e13032, 1-12. <https://doi.org/10.1111/jvs.13032>
- Pélissier, R., Couteron, P. y Dray, S. (2008). Analyzing or explaining beta Diversity? *Comment. Ecology*, 89(11), 3227-3232.
- Pereyra, L. 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.
- Ricotta, C. y Burrascano, S. (2008). Beta diversity for functional ecology. *Preslia* 80, 61-71.
- Sanches Melo, A., Schneck, F., Ubiratan Hepp, L., Ressayé Simões, Siqueira, T. y Bini, L. M. (2011). Focusing on variation: methods and applications of the concept of beta diversity in aquatic ecosystems. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 23(3), 318-331. <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000010>
- Saiz, F. (1980). Experiencias en el Uso de Criterios de Similitud en el Estudio de Comunidades. *Arch. Biol. Med. Exp.* 13, 387-402.
- Schmera, D., Podani, J. y Legendre, P. (2020). What do beta diversity components reveal from presence-absence community data? Let us connect every indicator to an indicandum! *Ecological Indicators* 117, 106540. www.elsevier.com/locate/ecolind
- Socolar, J. B., Gilroy, J., Kunin, W. E. y Edward, D. P. (2016). How Should Beta-Diversity Inform Biodiversity Conservation? *Trends in Ecology & Evolution*, January, 31(1), 67-80.
- Sørensen, T. A. (1948) A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Biologiske Skrifter*, 5, 1-34.

- Tuomisto, H. y Ruokolainen, K. (2006). Analyzing or explaining beta diversity? Understanding the targets of different methods of analysis. Reply. *Ecology* 87, 2697-2708.
- Tuomisto, H. (2010a). A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 1. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity. *Ecography* 33, 2-22.
- Tuomisto, H. (2010b). A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 2. Quantifying beta diversity and related phenomena. *Ecography* 33, 23-45.
- Veech, A., Summerville, K. S., Crist, T. O. y Gering, J. C. (2002). The additive partitioning of species diversity: recent revival of an old idea. *Oikos*, 99, 3-9.
- Wagner, H. H., Wildi, O. y Ewald, K. C. (2000). Additive partitioning of plant species diversity in an agricultural mosaic landscape. *Landscape Ecology* 15, 219-227.
- Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30, 279-338.
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity *Taxon* 21(2/3), 213-251.
- Whittaker, R. H. (1977). Evolution of species diversity in land communities. In M. K. Hecht, W. C. Steere y B. Wallace (Eds.), *Evolutionary biology* (pp.1-67). Plenum, New York.
- Whittaker, R. J., Willis, K. J. y Field, R. (2001). Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*, 28, 453-470.



RESÚMENES DE TESIS DE GRADO

Evaluación de bio insecticidas y ácaros depredadores para el control del pulgón verde (*Rhopalosiphum maidis* F.) y araña roja (*Tetranychus urticae* C.L. Koch) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en esquejes s.a. Jalapa, Guatemala, C.A.

Ana Ruth Morán Sandoval¹

RESUMEN

Las plagas son poblaciones de animales, plantas y microorganismos que tienen efecto negativo en la producción agrícola, las cuales disminuyen la producción del cultivo, reduciendo el valor de la cosecha o incrementando sus costos de producción, así como la calidad del producto final, tratándose de un criterio económico; por lo que contar con un plan de prevención y/o control dentro del ciclo productivo es indispensable, con la finalidad de evitar pérdidas. Las plagas agrícolas están constituidas principalmente por insectos, ácaros, nemátodos, caracoles, aves y roedores entre otros.

El control de las plagas usualmente es realizado con agroquímicos, siendo un aspecto no favorable para el medio ambiente por la residualidad que causan, así mismo las especies van desarrollando resistencia a las moléculas componentes de los agroquímicos por su constante uso, ya que a medida que pasa el tiempo es necesario aumentar las dosis para poder controlar la plaga de interés. Una de las posibles causas de lo antes mencionado es la poca o la falta de información acerca de otras alternativas para el control como los son los productos biológicos a base de extractos botánicos, que acompañados de un adecuado control cultural pueden llegar a ser efectivos como es el caso de los agroquímicos.

La finalidad de la presente investigación fue determinar la eficacia de diferentes productos botánicos con el objetivo de sustituir o reducir el uso de agroquímicos. Se evaluaron 12 diferentes tratamientos para dos especies plaga en el cultivo de maíz (*Zea Mays* L.), las cuales fueron la araña roja (*Tetranychus urticae* C.L. Koch) y el pulgón verde (*Rhopalosiphum maidis* F.). Diez de los tratamientos evaluados fueron preparados con bio

¹ Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola
chrome-
extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03969.pdf

insecticidas a base de extractos botánicos, jabones y ácaros depredadores; siendo comparados en cuanto a su eficacia con un tratamiento absoluto, es decir no se aplicó ningún producto y con un tratamiento relativo, haciendo referencia al control químico que se realiza normalmente en la empresa.

En cuanto al diseño experimental empleado fue completamente al azar con 4 repeticiones para la araña roja, haciendo un total de 48 unidades experimentales. El caso del pulgón verde, se evaluaron 2 repeticiones por tratamiento, es decir 24 unidades experimentales debido a que el pulgón verde se presentó en menor proporción que la araña roja, basado en los registros históricos del comportamiento de la especie plaga en la finca.

La evaluación de los productos se hizo al mismo tiempo sobre ambas especies, utilizando los mismos tratamientos, debido a lo solicitado por la empresa, sin embargo el análisis estadístico y económico de las mismas se realizó por separado; en donde para la araña roja los tratamientos con mayor efectividad fueron el T8 (Cinnalys) con el 43.5%, T9 (Savon) con 46.8% y el T7 (ACT BOTÁNICO 0.003 SC + (Spical + Spidex)) con 38.48%; en cuanto al pulgón verde los tratamientos T2 (testigo relativo) con el 83.88%, T7 (ACT BOTÁNICO 0.003 SC + (Spical + Spidex)) con 73.07% y el T4 (ACT BOTÁNICO 0.003 SC) con 65.88% de eficacia en su control.

Estimación de la cobertura y distribución del ecosistema natural de pinabete (*Abies guatemalensis* Redher), al año 2020, utilizando imágenes planet de la república de Guatemala, C.A.

Ana Patricia Cano Soto¹

RESUMEN

La especie de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), conocida comúnmente como Pinabete es de gran importancia económica para Guatemala debido a las características aromáticas de sus ramas y el uso de la madera.

En la presente investigación se realizó la estimación de la cobertura forestal del ecosistema natural de Pinabete, utilizando imágenes satelitales Planet de 4.70 m de resolución espacial. Para delimitar el área de estudio, se realizó un mapa de distribución potencial de Pinabete, utilizando el algoritmo de Máxima Entropía –MaxEnt- en el que se procesaron muestras de presencia de la especie y datos climáticos y topográficos del territorio de Guatemala.

El método utilizado para realizar la estimación fue el de clasificación supervisada la cual está basada en áreas de entrenamiento de las cuales se conocía la “clase” a la que pertenecen y de esa manera se obtuvo una signatura espectral característica de cada clase, es decir, se realizó una capa de puntos de entrenamiento utilizando cinco categorías (bosque de coníferas, bosque mixto, bosque de latifoliadas, cuerpos de agua, áreas sin cobertura forestal), las cuales fueron procesadas con un script elaborado en Google Earth Engine –GEE- utilizando el algoritmo Random Forest.

El resultado obtenido de la clasificación en GEE fue un raster clasificado con las cinco categorías al cual se le realizó una edición manual de las áreas que no fueron clasificadas correctamente. Asimismo, para obtener una capa limpia, se procesó el raster en Erdas Imagine® utilizando herramientas como Neighborhood, Clump y Eliminate. La validación del mapa se logró a través de la plataforma Sepal.io.

¹Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables
chrome-
extension://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03931.pdf

Para establecer las áreas de cobertura del ecosistema natural de Pinabete, se utilizó el área clasificada donde se identificó bosque de coníferas y, a partir de ésta, la estimación se realizó utilizando dos estratos de probabilidad del área potencial. El primer estrato, corresponde a la probabilidad del 25.01 % al 50 %, dentro de este estrato se estimó que existe Pinabete en interacción con otras especies de coníferas. El segundo estrato fue del 50.01 % al 68.73 % donde se estimó que existe únicamente el ecosistema natural de Pinabete.

Emisiones de CO₂e producidas por degradación a causa de los incendios forestales en el período 2016-2020 en la república de Guatemala, C.A.

Ana Sofía Arreaga Régil¹

RESUMEN

De acuerdo con el vacío de información existente sobre emisión de dióxido de carbono equivalente, provocado por incendios forestales en un periodo acorde a la información más reciente disponible, la presente investigación planteó la réplica del procedimiento elaborado por el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y uso de La Tierra GIMBUT. El fin es la estimación de un nivel de referencia sobre emisiones de CO₂e producidas por degradación a causa de los incendios forestales en la República de Guatemala. El periodo abarcado en la presente investigación es para los años 2016-2020.

Para ello, se sistematizó las capas de cicatrices de fuego de los años de estudio y puntos de calor obtenidos de NASA FIRMS. Como paso siguiente se unificó a las capas de cobertura forestal (del año 2020), el mapa de estratos de carbono (elaborado en el año de 2017). Para la determinación del CO₂e a nivel nacional y departamental se procedió a la obtención de datos para el reemplazo respectivo en las fórmulas del Panel Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático IPCC. Finalmente se realizó el cálculo de incertidumbres para los valores obtenidos por medio del método de Monte Carlo en el programa de XLSTAT.

Se determinó que el nivel de referencia obtenido en este periodo fue de 2,266,449.75 toneladas de CO₂e con un porcentaje de 6.66% de incertidumbres. El año menos afectado por incendios forestales en concordancia con los puntos de calor fue el 2018. Los años con mayor cantidad de puntos de calor fueron el 2020 y el 2016 respectivamente, los cuales además presentaron valores mayores de temperatura a nivel nacional.

¹ Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables
chrome-
extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03970.pdf

“Planta piloto para la extracción de pulpa reciclada y elaboración de materiales ecológicos a partir de las hojas de papel desechadas en la Universidad de San Carlos de Guatemala C.A.”

Brandon Rafael Galvez Melgar¹

RESUMEN

En la Facultad de Agronomía se consume una gran cantidad de hojas de papel, además de vasos y platos para las diferentes conferencias que se dan anualmente. El excesivo uso de papel se debe a todos los procesos educativos y administrativos que conllevan el uso de este tipo de recursos. Para mitigar esta problemática se plantea el diseño e instalación de un laboratorio para el reciclaje de papel, para la fabricación de empaques ecológicos, tales como vasos, platos para alimentos, como también afiches para las carteleras de la facultad.

Para solventar la situación del manejo adecuado de los desechos de papel bond y kraft, se realizó un análisis de los tipos de fibras encontrados en los papeles de desecho generados. Una vez investigados y caracterizados, se implementó un proceso a escala para el reciclaje de papel en el Laboratorio y se procedió a hacer tres formulaciones distintas para la fabricación de los empaques; verificando las consistencias de los resultados obtenidos.

Al determinar la formulación más adecuada, se fabricaron dos empaques ecológicos para alimentos, como lo son las bandejas y recipientes de diversa utilidad, con sus respectivos tratamientos y análisis bacteriológicos.

La efectividad de la fabricación de empaques se evaluó por medio de diversas pruebas de resistencia. Una vez fabricados y formulados, se diseñó una planta de reciclaje en la escala industrial. Para dejar la propuesta a la universidad de San Carlos de Guatemala.

¹Ingeniero Agrónomo en Industrias Agropecuarias y Forestales

chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpccpleclmflkcaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03974.pdf

Estudio de la agricultura familiar indígena y campesina y su relación con la seguridad alimentaria y nutricional en la aldea Cerro de Oro, Santiago Atitlán, Sololá, Guatemala, C.A.”

Carlos Waldemar De León Samayoa¹

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la aldea Cerro de Oro del municipio de Santiago Atitlán, Sololá, en el marco del proyecto “Fomento a la Agricultura Familiar Campesina”, ejecutado por el Comité Campesino del Altiplano (CCDA).

Esta comunidad es afectada por los problemas estructurales e históricos que mantienen en situación de pobreza a las familias indígenas y campesinas del país. Para poder sobrevivir ante tales adversidades, han adoptado diversas prácticas agroecológicas que contribuyen al fortalecimiento de la producción de alimentos en sus pequeñas unidades familiares. Pero, al ser su propia producción insuficiente para cubrir todas las necesidades demandadas, se ven obligados a buscar alternativas de ingresos, como la venta de la fuerza de trabajo familiar y la elaboración de tejidos, recibiendo a cambio pagos insuficientes que impiden a las familias llevar una vida digna.

A través de metodologías cuantitativas se recogió información de variables productivas y socioeconómicas de las familias para conocer su contexto y resultados importantes de la agricultura familiar; los métodos cualitativos contribuyeron a obtener información histórica y social, determinante para responder a las preguntas de investigación.

Se estimó la capacidad productiva, económica y social de las unidades familiares para entender la dinámica de la agricultura familiar y su contribución a la seguridad alimentaria y nutricional. La producción familiar aporta parte de los alimentos demandados, sin embargo, es insuficiente para cubrir la totalidad demandada; esta situación obliga a las familias a diversificar sus actividades económicas, además de adoptar estrategias productivas y organizacionales que contribuyen a fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional de las mismas.

¹ Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03916.pdf

Estudio socioeconómico del café (*coffea arabica* L.) tostado y molido para el fortalecimiento de las Mujeres de la Cooperativa agrícola A'xola, Petatán, Huehuetenango, Guatemala, C.A.

Diana Gabriela Palacios Monzón ¹

RESUMEN

En la Cooperativa Agrícola Integral A 'xola R.L ubicada en el municipio de Petatán departamento de Huehuetenango, se realizó el estudio socioeconómico para el fortalecimiento de las mujeres de la "Cooperativa Agrícola A 'xola" se describe la situación actual de las productoras que trabajan en el cultivo de café, por ello esta investigación permite conocer su nivel de educación, nivel económico, fuentes de ingreso, la descripción y características de producto para identificar las cadenas de comercialización, tanto en mercado locales y nacionales a través de metodologías planteadas para un largo y mediano plazo y escalar a mercados sostenibles para la comercialización del café tostado y molido, la estimación de los costos de producción para conocer sus ingresos y egresos.

Se realizó el análisis de la comercialización del café tostado y molido y café pergamino para comparar de las utilidades de cada producto. La descripción de las actividades principales y trabajo remunerado de las mujeres para la sostenibilidad y comercialización. Así mismo lograr el empoderamiento económico de las mujeres a través de su liderazgo en la comercialización y producción a través del cultivo de café.

Se comparten los resultados obtenidos y las acciones para fortalecer las capacidades de producción y lograr optimizar con mayor eficiencia la comercialización de la cadena de café tostado y molido.

¹ Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03937.pdf

**Estudio preliminar sobre el uso actual del agua en la cuenca del Río
Los Esclavos, Santa Rosa, Guatemala, C.A.**

Diego Ivan Tobar Torres¹

RESUMEN

El objetivo de la siguiente investigación es comprender las dinámicas socioambientales que se dan alrededor del acceso al recurso hídrico en la Cuenca del río Los Esclavos, en donde se evalúa las interacciones entre los miembros de la mesa técnica a través de un mapa de actores, así mismo, se caracterizaron e identificaron a los principales usuarios y usos del agua en la cuenca. La cuenca se encuentra ubicada en el departamento de Santa Rosa, Guatemala.

Actualmente el marco legislativo Guatemalteco carece de una reglamentación que de orden técnico y jurídico sobre el manejo del recurso hídrico en el territorio, y en donde sea predestinada a obtener una mejor distribución y calidad del recurso hídrico en el país para sus pobladores, en ese sentido, surge el acuerdo legislativo 19 -2021, que da orden a conservar las cuencas hidrográficas del territorio nacional.

Teniendo en cuenta las dinámicas sociales presentes en el territorio, se pretendió dar un breve acercamiento a las dinámicas entre los actores que integran la mesa técnica de la Cuenca del río Los Esclavos, que reúne a un buen número de sectores de la Cuenca del río Los Esclavos, pero que también evidencia, la falta de participación de la sociedad civil. Para ello, se reflexiona sobre las dinámicas de los bienes comunes, que aborda la premio nobel de economía Eleonor Ostrom, la cual brinda un punto de vista en donde aborda que muchas veces los gobiernos pueden ayudar o por el contrario, estropear la autoorganización de las comunidades en cuanto al uso adecuado de los recursos naturales.

¹ Ingeniero Agrónomo en Gestión Ambiental Local
chrome-
extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03909.pdf

“Estudio sobre diversidad genética y estructura poblacional del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) en los bosques de coníferas en Quetzaltenango, Totonicapán y Jalapa, Guatemala, C.A.”

Edna Sofía Colacho Hernández¹

RESUMEN

El *Abies guatemalensis* Rehder o comúnmente conocido como Pinabete, es una especie endémica de Guatemala que se encuentra distribuida principalmente en la región del Altiplano Occidental, y algunas áreas relicto en la parte de Oriente, en altitudes mayores a 2,400 m s.n.m.

Siendo una especie endémica para Guatemala sus poblaciones se encuentran severamente fragmentadas debido a la tala ilegal según el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), ya que ha disminuido su población natural, presentándose en parches de bosques aislados que aún se encuentran a pesar de la deforestación.

La diversidad genética del pinabete presente en los bosques de coníferas de Guatemala es importante para conocer el estado de dichas poblaciones, para saber qué ruta tomar para salvaguardar la especie, la cual debido a sus usos, principalmente como ornamento en época navideña por su peculiar aroma y aspecto, es una especie en peligro de extinción.

Es por ello que surge la necesidad de conocer cómo se encuentran las poblaciones, por lo que acículas fueron colectadas de árboles presentes en rodales naturales de pinabete dentro de los bosques de coníferas de los departamentos de Quetzaltenango, Totonicapán y Jalapa. Estas fueron almacenadas y trasladadas de forma adecuada para conservar lo mejor posible las muestras y que no se degradara la cantidad de ADN presente en ellas.

Posteriormente en laboratorio fueron procesadas según los protocolos pertinentes para poder eliminar la cantidad de fenoles, resinas y demás contaminantes presentes, se extrajo el ADN presente se procedió a procesar las muestras y por medio de los marcadores moleculares RAPD a través de una visualización por electroforesis observar la presencia o ausencia de estos y realizar los análisis e interpretaciones correspondientes.

¹ Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03910.pdf

Los marcadores RAPD son apropiados para determinar la diversidad genética de las poblaciones de *A. guatemalensis* por presentar un alto número de loci polimórficos. La diversidad genética promedio para las poblaciones es de 66.20 % P, índice de Shannon 0.260 y el índice de diversidad genética de Nei 0.161, por lo que se asume que existe una alta diversidad genética entre poblaciones.

Las poblaciones analizadas de pinabete muestran una estructura definida por el AMOVA que el 89 %, 7 % y 4 % de diversidad genética está debida a la diferenciación dentro de la población, dentro de las regiones y entre las poblaciones.

El análisis discriminante sugiere que los genotipos pueden estar divididos en dos clústeres, evidencia que se sostiene con el análisis bayesiano de structure que sugiere que las poblaciones podrían ser derivadas de dos clusters genéticos.

Existe una alta diferenciación genética entre las poblaciones, demostrado por los valores de Phi Interpoblacional (0.113) lo que se atribuye a que las poblaciones de especies coníferas son especies longevas y su sistema de reproducción es limitado debido a distintos factores como los límites geográficos. Así mismo, que intercambian material genético entre sí, evidenciando la presencia de migrantes entre las poblaciones.

Los datos obtenidos son útiles para el manejo forestal de la especie, sin embargo, se sugiere la utilización de un marcador molecular que tenga mayor capacidad de resolución en el genoma, como un método de reducción representativa del genoma.

Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas de la finca municipal Florencia y del Huerto Chikach en el departamento de Sacatepéquez, Guatemala, C.A.

Elder René Valle Gaitán¹

RESUMEN

La agricultura convencional enfrenta una crisis marcada por la degradación de los recursos naturales, los crecientes costos tecnológicos y la monopolización de la producción, generando pérdidas para pequeños productores e impactos negativos para los ecosistemas. El monocultivo intensivo ha causado problemas ambientales significativos. La agroecología surge como alternativa, pero su evaluación choca con el enfoque convencional centrado únicamente en la productividad y costos, dejando de lado aspectos igual de importantes como los componentes socioculturales y la relación de las personas con el ecosistema.

La investigación se realizó en la finca municipal Florencia y el huerto Chikach en Sacatepéquez, evaluando su sustentabilidad durante 6 meses. La finca sigue un modelo convencional, mientras que el huerto Chikach representa la agroecología. Se buscó responder preguntas cruciales sobre la sustentabilidad de ambos sistemas y cómo el Chikach podría influir en la Finca Florencia.

La justificación del estudio radica en la crisis de la agricultura convencional, sugiriendo que nuevas alternativas deben integrar aspectos ecológicos, sociales y económicos para satisfacer las necesidades humanas y medioambientales. La agricultura sustentable, fundamentada en principios agroecológicos, se presenta como biodiversa, resiliente y eficientemente energética, conectada a la soberanía alimentaria.

La metodología, basada principalmente en la Guía del IICA y la metodología propuesta por el MESMIS, empleó diálogo, recopilación de datos primarios y secundarios, y análisis estadístico. Se definieron variables en las dimensiones sociocultural, económico-productiva, biofísico-ambiental y político-institucional. La evaluación incluyó la determinación de subsistemas de producción, caracterización, elaboración de indicadores y cálculo de índices integrados de sustentabilidad.

Las conclusiones revelan dos conglomerados en la finca Florencia con índices integrados de sustentabilidad de 2.25 y 2.29, clasificándola como inestable. Se identificaron 16 puntos críticos, entre los cuales están el

1

escaso involucramiento en la toma de decisiones, el manejo de desechos, la elevada intensidad de uso de agroquímicos, la falta de asesoría técnica y la limitada conciencia agroecológica. El huerto Chikach, con un índice de 4.76, clasificado como óptimo, destaca como un faro agroecológico y presenta un modelo productivo ideal para la búsqueda de la sustentabilidad de las unidades agrícolas.

Se recomienda mejorar la participación en decisiones, fortalecer la presencia institucional, promover conocimientos agroecológicos, brindar asesoría técnica, fomentar la inclusión familiar, impulsar la integración comunitaria y equidad de género, y diversificar la producción.

El estudio identifica elementos del Chikach con potencial de réplica en Florencia, como técnicas de conservación de suelos, cultivos de cobertura, compostaje, organización de productores y turismo agroecológico.

Este trabajo sienta las bases para la transición de un paradigma convencional a un modelo agroecológico sustentable. Se sugiere la continuidad con propuestas específicas, como la implementación de centros de acopio, huertos comunitarios, y la formación de cooperativas agrícolas, consolidando así un cambio hacia la sustentabilidad en la finca Florencia.

Evaluación de la combinación de ácidos fúlvicos y la fertilización química en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) híbrido avenger en Finca la Alameda, El Tejar, Chimaltenango, Guatemala, C.A.

Eleazar Rafael Villanueva Estacuy¹

RESUMEN

Mediante el diseño experimental completamente al azar, se logró identificar el mejor tratamiento de la dosis de ácidos fúlvicos en combinación con fertilizantes químicos, en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) híbrido Avenger, como también, cuál de los tratamientos evaluados presentó mayor relación beneficio costo. Se realizó la aplicación de siete tratamientos, tomando como base la dosis aplicada en la finca, se reduce la dosis a razón de un 20% por cada tratamiento. Se hicieron dos aplicaciones de ácidos fúlvicos en el ciclo de cultivo de brócoli.

Los resultados que se obtuvieron mostraron un comportamiento en el cual, la aplicación de ácidos fúlvicos vía suelo, en combinación con fertilizantes químicos granulados logró reducir la cantidad de fertilizante en un 20%, estadísticamente el tratamiento de fertilizante sintético al 80% + Ácidos fúlvicos y el testigo absoluto están categorizados dentro del mismo grupo, lo cual genera que se logre reducir un 20% el fertilizante al utilizar ácidos fúlvicos para las condiciones evaluadas.

También se evaluó la aplicación de ácido acetil-salicílico 40 % vía foliar como inductor de resistencia a enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) variedad Festival en finca La Alameda, El Tejar Chimaltenango, evaluación que consiste en un promotor de fitoalexinas, en dosis diferentes, con ello se busca que la planta sea más resistente a daños por hongos principalmente, se evaluaron tres tratamientos con diferentes concentraciones y un testigo absoluto, de los cuales, la concentración 0.1% es la que presentó un promedio menor de fruta dañada por moho gris (*Botrytis cinérea*) en kg/ha, de tal modo que, se concluyó que la utilización del promotor de fitoalexinas, puede ayudar a la planta a mejorar la capacidad que tiene para enfrentar enfermedades en periodos adversos.

¹ Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03981.pdf

Evaluación de fósforo, calcio y boro en la producción de semilla en el cultivo de melón (*Cucumis melo L.*), bajo las condiciones del área de campo abierto, Estación de Investigación Bayer, Salamá, Baja Verapaz, Guatemala, C.A.

Elio Augusto Carlos Sagastume Leal¹

RESUMEN

La investigación desarrollada en la estación de Investigación Bayer en Salamá, B.V., bajo condiciones de campo abierto en estructura de protección tipo macro túnel, teniendo como objeto de estudio al cultivo de melón (*Cucumis melo L.*), permitió determinar que distintas dosis de fertilizantes con elementos clave para la formación de la semilla y procesos fisiológicos relacionados si tienen influencia sobre la cantidad de semilla que cada fruto de una planta puede llegar a formar.

Tras haber aplicado los distintos tratamientos (dosis de fertilización) bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, se identificó, mediante un análisis estadístico tipo ANDEVA, que la variable de respuesta de mayor relevancia, la cantidad de semilla producida por un fruto, presentó mejores resultados en el tratamiento 4 (Dosificación: 130 kg*ha⁻¹ P₂O₅, 4 kg*ha⁻¹ B, 2 kg*ha⁻¹ Ca), alcanzando un promedio de producción de 531 semillas/fruto, 18.77 g de semilla por fruto y 28 semillas para formar un gramo de peso.

Tras obtener los resultados, se recomendó implementar las dosis propuestas en el tratamiento 4 de la evaluación para los proyectos de melón en etapas de filial 1 para obtener la mayor cantidad de semillas para el ciclo siguiente, en el cual se requieren altas densidades poblacionales para la selección de caracteres de interés.

¹ Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola
chrome-
extension://efaidnbmnribpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03982.pdf

Evaluación de la eficiencia de tres dosis distintas de glufosinato de amonio para el grado de control de malezas en plato en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis Jacq.*) En Agroservicios El Triunfo S.A. de Grupo Hame, Municipio de Coatepeque, Quetzaltenango, Guatemala, C.A.

Eswin Alberto Zamora Pérez¹

RESUMEN

Esta investigación consiste en la evaluación de tres dosis distintas (1.5 L/ha, 2 L/ha y 2.5 L/ha) del herbicida UNOFOR 15 SL (banda toxicológica color verde) y como dosis testigo (1.5 L/ha) el herbicida REGLONE 20 SL (banda toxicológica color amarillo) para determinar la mejor alternativa de control de malezas en plato en el cultivo de palma de aceite, promoviendo el uso de herbicidas con banda toxicológica color verde y azul, reduciendo los daños ecológicos provocados al ambiente, resguardando la salud del personal agrícola y la salud de los consumidores finales del aceite de palma procesado.

Ninguno de los tratamientos logró un control de malezas en plato igual o superior a cuatro meses (120 días), sin embargo, si superaron los tres meses de control (90 días) hasta igualar el porcentaje de cobertura inicial del área evaluada, siendo el tratamiento 1 (1.5 L/ha de Relone 20 SL) el que presentó la mayor cantidad de días control con 114 días en total, seguido por el tratamiento 4 (2.5 L/ha de Unofor 15 SL) con 107 días control, el tratamiento 2 (1.5 L/ha de Unofor 15 SL) con 100 días control y el tratamiento 3 (2 L/ha de Unofor 15 SL) el que presentó la menor cantidad de días control con 99 días en total.

¹ Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03940.pdf

Censo forestal y plan de manejo del bosque natural con fines de protección, provisión de servicios ambientales y ecoturismo del parque ecológico La Asunción, zona 5, Guatemala, Guatemala, C.A.

Geordana Del Rosario Pineda Chután¹

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en el parque ecológico “La Asunción”, zona 5 de la ciudad de Guatemala, el cual cuenta con una extensión territorial de 12.30 ha. Este parque, forma parte del plan de recuperación de áreas verdes de la municipalidad de Guatemala, cuyo bosque natural se caracteriza por tener entre 80 a 100 años.

Este bosque, ubicado en el perímetro de la ciudad, forma parte del Cinturón Ecológico Metropolitano (CEM), cuya propuesta radica en la protección, conservación y manejo de los remanentes boscosos. El objetivo fue la descripción de las características cualitativas y cuantitativas del arbolado para la posterior elaboración de un plan de manejo con fines de protección, provisión de servicios ambientales y ecoturismo.

El levantamiento de información, se hizo a través de un censo forestal, en donde se obtuvieron datos de un total de 1,212 árboles, cuyas especies predominantes fueron: encino negro, coralillo, aliso, caulote, y mano de león.

Dentro de la información analizada, se tomaron en cuenta datos como la forma y fitosanidad de los árboles, que posteriormente fueron utilizados para la planificación de prácticas silviculturales, tales como: podas, limpiezas, rondas cortafuego, eliminación de malezas y competencia, entre otras. Dichas actividades, permitirán que el bosque se desarrolle en las mejores condiciones, favoreciendo la provisión de los servicios ambientales y promoviendo el ecoturismo en el área.

¹ Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables
chrome-
extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03881.pdf

Evaluación de diferentes dosis de caldo sulfocálcico para el control de trips (*thrips tabaci*) en el cultivo de cebolla (*allium cepa l.*) En la comunidad de Tonalá, Zacualpa, Quiché, Guatemala, C.A.

Giovanni Jorgeantonio Tumax Marroquín¹

RESUMEN

El desarrollo de la investigación sobre diferentes dosis de caldo sulfocálcico para el control de trips en el cultivo de cebolla en la comunidad de Tonalá, Zacualpa, Quiché. Para la investigación se evaluaron 4 diferentes dosis de caldo sulfocálcico, con dosis de 0.50 L/ha, 0.75 L/ha, 1.0 L/ha y 1.25 L/ha, y un tratamiento testigo con una dosis de 0.075 L/ha. Se utilizó para este caso el producto tradicional del agricultor, más un testigo absoluto sin aplicación alguna de un producto, con el objetivo de evaluar que dosis controla mejor la densidad poblacional de trips y favorezca el rendimiento en el cultivo de cebolla. Además, se realizó un análisis económico para evaluar el costo de producción para la elaboración de caldo sulfocálcico, de esa manera proporcionarle al agricultor otra alternativa para el control de esta plaga en el cultivo de cebolla con un costo relativamente bajo. El tratamiento que mejor se ajustó en la evaluación en cuanto al control, rendimiento y utilidad fue el T6 con una dosis de 1.25 L/ha de caldo sulfocálcico, con una TMR \geq TAMIR (100 %), con un residuo de Q. 3,740.40 seguido del tratamiento T2 (control químico), con una dosis de 0.075 L/ha y un residuo de Q. 2,997.50.

¹ Ingeniero Agrónomo en Sistema de Producción Agrícola

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcgclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03920.pdf

Desarrollo de nuevos productos para la Industria De Galletas, Chocolates y Confitería de Guatemala

Jessica Cecilia De Paz Barrios¹

RESUMEN

Tomando en cuenta la necesidad de innovación, se realiza un diagnóstico para determinar los productos a desarrollar, en donde se obtienen: galleta naranja cremosa, bebida chocolatada caliente, galleta choco menta, chocolate relleno con crema sabor a coco y galleta choco banano, las cuales buscan innovar los productos que ya ofrece la industria o incursionar en nuevos nichos de mercado.

El desarrollo inicia con la determinación del perfil organoléptico del producto deseado, el establecimiento de las materias primas a utilizar según sus características fisicoquímicas y organolépticas deseadas para cada producto, el desarrollo de la fórmula del producto, la validación sensorial interna de los productos, pruebas de estabilidad térmica para los que aplican y el desarrollo de los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE).

El Procedimiento Operativo Estandarizado de cada producto desarrollado detalla la maquinaria, equipo y utensilios necesarios para su elaboración a nivel industrial, el proceso de producción y de empaque primario y secundario y los parámetros de calidad.

También se plantea una propuesta técnica para la reducción del desperdicio de material de empaque de chocolates, tanto primario como secundario. Para reducir el desperdicio de material de empaque primario de chocolates se propone ampliar los parámetros de aceptación de calidad y así evitar que los chocolates con defectos no relevantes en el empaquete sean rechazados y reprocesados; para reducir el desperdicio de material de empaque secundario en chocolates se propone corregir la falta de empujadores metálicos en las líneas de producción, los cuales sirven para transportar ordenadamente los chocolates desde el área de empaque primario hasta el

¹ Ingeniera en Industrias Agropecuarias y Forestales
chrome-
extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03922.pdf

área de empaque secundario y evitan que los sellos del empaque secundario se coloquen en el lugar incorrecto del paquete y este tenga que reprocesarse.

Se plantea la necesidad de tener un panel sensorial interno entrenado, como resultado se obtiene el plan de capacitación con el detalle de las capacitaciones realizadas a personal interno de la Industria de Galletas, Chocolates y Confeitería de Guatemala, las cuales tienen la finalidad de enseñar a un grupo de personal seleccionado del área operativa y administrativa los principios de un análisis sensorial.

Evaluación de cuatro concentraciones de fósforo y su efecto en la germinación y desarrollo vegetativo de pilones de tomate (*Solanum lycopersicum L.*), en sustrato a base de *Hydrilla verticillata* bajo condiciones de invernadero, en el vivero municipal, Santa Catarina Palopó, Sololá, Guatemala, C.A.

Juan Pablo Rodas De León¹

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en el vivero municipal de Santa Catarina Palopó, la cual fue enfocada en la evaluación de cuatro concentraciones de fósforo en el sustrato a base de *Hydrilla verticillata* para la producción de plántulas de tomate.

El objetivo principal de la investigación fue encontrar la concentración de fósforo adecuada en el sustrato a base de *Hydrilla verticillata*, para así poder sustituir los sustratos comerciales y generar un uso adecuado de la *Hydrilla verticillata* que se encuentra en el lago de Atitlán, ya que al contar con este recurso se consideró que podía usarse como sustrato siendo una alternativa técnica y económica para la descontaminación del lago.

En la investigación se encontró que la concentración de 100 ppm de fósforo fue superior en todas las variables evaluadas, además que en el resultado del análisis económico, al aplicar esta concentración es Q. 0.46 más barato, comparado con los demás tratamientos.

¹ Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola
chrome-
extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03896.pdf

Evaluación del proceso y manejo de los residuos y desechos sólidos del municipio San Pablo La Laguna del departamento de Sololá, Guatemala, C.A.

Juana Patricia De Paz Pérez ¹

RESUMEN

La presente investigación evalúa el proceso y manejo con relación al cambio de Producción Per Cápita (PPC) de los residuos y desechos sólidos, asimismo, la influencia que tiene con la contaminación ambiental actual del municipio de San Pablo La Laguna.

Se determinó que el manejo de los residuos y desechos sólidos ocasiona una disminución en la PPC que va de 0.69 kg/día/hab, 0.23 kg/día/hab a 0.10 kg/día/hab independientemente del crecimiento poblacional. El manejo también ocasiona impactos ambientales sobre el recurso agua, aire, suelo, flora y fauna que afecta al lago de Atitlán, siendo una de las cuencas importantes por su biodiversidad y turismo para Guatemala. Estos impactos aceleran el proceso de eutrofización, cambio climático, pérdida de hábitats naturales y daños a la salud de seres vivos.

Los resultados evidencian que la causa de contaminación se enfoca en la acumulación de basura en los hogares debido a un retraso de recolección, esto provoca que los hogares busquen otro método de eliminación, generando impactos ambientales y la disminución de la PPC. A partir de la detección de la causa se crearon líneas estratégicas para que la municipalidad empiece con una correcta gestión de residuos y desechos sólidos. Los resultados son específicos de este municipio, siendo una limitante, puesto que, la causa no será igual en otras áreas, sin embargo, la investigación da pilares de cómo identificar la causa y dar inicio a otras investigaciones en los municipios que presenten una contaminación por basura.

Si bien algunos estudios abordan la PPC y manejo de los residuos sólidos, no se detecta como tal la causa de la contaminación y se sigue con estrategias generales intentando atacar la fuente no puntual. Si seguimos con el mismo manejo sin detectar la raíz del problema o fuente puntual de contaminación se obtendrá la pérdida de biodiversidad y posteriormente la

¹ Ingeniera en Gestión Ambiental Local

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03949.pdf

RESÚMENES DE TESIS DE POSTGRADO

muerte de los seres vivos que dependen de ello, no solo localmente sino en todo el país de Guatemala.

Evaluación de siete tratamientos de escarificación, en semilla de aguacate (*Persea americana L.*), bajo condiciones de vivero, diagnóstico y servicios realizados en el área del vivero municipal de la Oficina Forestal Municipal y de Seguridad Alimentaria y Nutricional -OFMSAN-, Municipio de Asunción Mita, Jutiapa, Guatemala, C.A.

Marbel Leonel Navas Ramírez¹

RESUMEN

La investigación realizada consistió en determinar el proceso de escarificación más efectivo para mejorar el tiempo y la germinación de semillas de aguacate. para el rompimiento de la latencia debido a que es una especie con gran potencial para los sistemas agroforestales.

Por lo tanto, de los siete tratamientos aplicados se determinó que el método físico obtuvo el porcentaje de germinación más alto con un 96.67 % y un tiempo promedio de 15 días de germinación en comparación con el testigo absoluto que llegó al 60 % y 23 días de germinación. Para todos los tratamientos restantes existió una diferencia significativa en el porcentaje y tiempo de germinación, pero no superaron los resultados del método físico.

En cuanto a las variables biométricas los mejores tratamientos fueron los tratamientos combinados; el T6 presenta una altura de planta de 35.54 cm a los 120 días después de la siembra, con relación a la variable circunferencia de tallo el mejor tratamiento es el T7 que presentó una circunferencia de tallo promedio de 5.5 mm a los 120 días después de la siembra.

¹ Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola
chrome-
extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03879.pdf

Caracterización de un brote de gorgojo del pino y análisis de emergencia de insectos del género (*Dendroctonus sp*) y sus depredadores naturales, Finca La Sierra, Patzún Chimaltenango, C.A.”

María Andrea Herrera Ramírez¹

RESUMEN

En la finca La Sierra ubicada en Patzún, Chimaltenango se encuentra un bosque de pino, que presenta diferentes coloraciones en sus follajes que van desde verde, amarillo a rojizo y en la corteza se observan brotes de resina provocados por descortezadores, la investigación permitió la identificación del insecto y las fases según el ciclo de desarrollo de este, donde el insecto hace más daño al árbol.

Los resultados obtenidos fueron que el insecto que provoca el daño en los pinos es *Dendroctonus sp*, el cual en la Fase I y Fase II realiza mayores daños a la corteza del árbol, en la Fase III se encontraron depredadores de las familias Ruduviidae y Cleridae, al realizar un análisis estadístico se pudo observar que no existe diferencia significativa entre las secciones del fuste.

¹ Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables
chrome-
extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03951.pdf

Evaluación de tres fuentes de carbono en la desinfestación anaeróbica de suelos para el control de la marchitez bacteriana del tomate y caracterización molecular de *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith

Marta Maribel Sánchez Tzorin¹

RESUMEN

La marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith, es una enfermedad conocida por afectar gravemente diversos cultivos, siendo varios de gran importancia económica, entre ellos, el banano, la papa, el tabaco y el tomate. Actualmente, no existe un método de control para la marchitez bacteriana; siendo la única manera de evitar el patógeno con métodos y técnicas preventivas.

En Guatemala se puede encontrar 3 tipos de secuevares, se encuentran distribuidos en tres pisos altitudinales; así filotipo II secuevar 7 se encuentra de 0 m hasta 300 m s.n.m. (asociado al cultivo de banano), filotipo I secuevar 14 se encuentra de 200 m a 1,400 m s.n.m. (asociado al cultivo de tomate) y filotipo II secuevar 1, a altitudes mayores a 1,400 m s.n.m. (asociado al cultivo de papa).

¹ Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola
chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03954.pdf

Evaluación de tres fuentes de fosfitos como alternativa a la aplicación de fungicidas convencionales para el control de Mildiu Polvoriento (*Oidium sp*) en la producción de arveja china (*Pisum sativum L.*) variedad kennedy en el municipio de Patzún, Chimaltenango, Guatemala, C.A.

Marvin Orlando Sicajau Pec¹

RESUMEN

Los productores de arveja china, en su intento por controlar la enfermedad del mildiu polvoriento (*Oidium spp*), hacen uso de diferentes fungicidas los cuales deben estar en la lista de productos aprobados para ser utilizados en hortalizas para exportación. Con el objetivo de evaluar nuevas alternativas de fungicidas más amigables con el ambiente, con la salud de los productores y de los consumidores finales, se planteó la evaluación de diferentes fuentes de fosfitos como fungicidas para el control del mildiu polvoriento en el cultivo de arveja china, para ello se obtuvieron los siguientes resultados: dentro de los fosfitos que tuvo un mayor control para el patógeno es el fosfito de cobre Cu_3PO_3 (T3), pero el tratamiento de mayor efectividad para el control del patógeno es el testigo regional (T4).

Con los resultados obtenidos se puede recomendar el uso del fosfito cobre I para poder incluirlo en el programa de manejo integrado de la enfermedad de mildiu polvoriento de la arveja china.

¹ Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola
chrome-
extension://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03882.pdf

Análisis de la composición espacial en fragmentos remanentes de bosque y propuesta de conectividad forestal en fincas productivas, Santa Ana, Petén, Guatemala, C.A.

Rodrigo Josué De La Roca Gonzalez¹

RESUMEN

La presente investigación tuvo por finalidad colaborar con el desarrollo de un sistema sostenible en el medio de producción agropecuario, fomentando la importancia del manejo de los fragmentos de bosque remanentes como estrategia para el mejoramiento de hábitats y aportando al alcance de los objetivos de desarrollo sostenibles mundiales.

Mediante el uso de software especializado en manejo de fraccionamiento y análisis espacial se estudiaron los fragmentos remanentes de bosque presentes en un área piloto, generando como productos principales: el mapa de uso actual de la tierra del área de estudio, la caracterización de razones biofísicas y una propuesta de interconexión entre los fragmentos de bosque. Se priorizaron 13 fragmentos de bosque considerándolos áreas matrices del paisaje. Se generaron 19 enlaces prioritarios para lograr una conectividad efectiva, se tiene que considerar restaurar en total 42 ha de cobertura arbórea (2,088 m de longitud por 200 m de ancho), representando un 0.21 % del área total de investigación.

Según sea la situación de cada enlace propuesto, se brinda una serie de actividades que pueden implementarse para la conexión de fragmentos.

¹ Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03959.pdf

Identificación molecular y evaluación de la eficiencia y estabilidad de solubilización de fósforo de siete aislados de hongos provenientes de suelos andisoles de Guatemala, realizado en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, C.A

Santos Cipriano González González¹

RESUMEN

El fósforo (P) es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de los vegetales en la producción agrícola, sin embargo, dado su complejidad en la dinámica, únicamente una pequeña porción del total presente en el suelo está disponible y es asimilable por las plantas, puesto que la mayoría se encuentra en formas insolubles, especialmente en suelos andisoles, que presentan características con alta retención de fosfatos.

Las especies de hongos que tienen la capacidad solubilizadora de fósforo presentan una alternativa para transformar el fósforo a formas solubles y asimilables por las plantas; además, por ser parte de la microbionta natural del suelo, poseen la característica de no generar contaminación ambiental.

En el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala se identificaron molecularmente siete aislados de hongos provenientes de suelos andisoles de Guatemala, mediante la amplificación de ADN de la región transcrita interna (ITS). Además, se evaluó la eficiencia y estabilidad de solubilización de fósforo in vitro de los siete aislados en el medio de cultivo NBRIP (Nacional Botanical Research Institute Phosphate Growth Medium), utilizando como fuente de fósforo insoluble el fosfato tricálcico (Ca₃(PO₄)₂).

Se identificaron tres especies de hongos: *Trichoderma harzianum* para los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Escuintla, Sacatepéquez y Chimaltenango, *Aspergillus niger* para el departamento de Totonicapán y *Paecilomyces lilacinus* para el departamento de Sololá.

¹ Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola
chrome-
extension://efaidnbmnnnibpajpccplefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03960.pdf

Para la capacidad de solubilización, la especie *T. harizianum* aislado de los suelos de Escuintla presenta la mayor capacidad de solubilización con diámetro del halo solubilización medio de 5.24 cm, seguido de *T. harizianum* aislado de los suelos de San Marcos con media de 4.74 cm, para estos dos aislados no se presentó diferencia estadística significativa.

En cuanto a la estabilidad de solubilización, la especie *T. harizianum* aislado de los suelos de Escuintla presenta la mayor estabilidad de capacidad de solubilización con halo medio de 5.21 cm.

La investigación realizada contribuye a que los aislados con alta eficiencia y estabilidad in vitro, puedan evaluarse en posteriores investigaciones de campo, incorporando factores como diferentes suelos, condiciones climáticas y cultivo.

Identificación de las zonas susceptibles a inundaciones mediante modelación y percepción comunitaria en la cuenca del Río Los Esclavos, Guatemala C.A.

Walter Enmanuel Sazo Martinez¹

Resumen

El presente trabajo se ejecutó durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) realizado durante el periodo de enero a diciembre del año 2019, en el programa de gestión de riesgo de desastres del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC).

La identificación de zonas susceptibles a inundaciones mediante la modelación hidráulica y percepción comunitaria era un elemento de sumo interés para el ICC debido al vacío de información que existía en la cuenca del río Los Esclavos con respecto a dicho tema. Se realizó la modelación hidráulica unidimensional y bidimensional de la parte media y baja de la cuenca para tres tiempos de retorno de 10, 30 y 50 años.

Los resultados de los modelos unidimensionales y bidimensionales se compararon y se analizaron para así identificar en qué condiciones es mejor utilizar cada uno de los modelos y qué factores afectan el área de inundación. La percepción comunitaria sobre las inundaciones es de suma importancia para poder validar la información obtenida por los modelos por lo cual se trabajaron talleres con las comunidades afectadas por inundaciones donde los habitantes identificaron las zonas afectadas por inundaciones de tipo pluvial y de tipo fluvial.

¹ Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-04002.pdf

F A C U L T A D D E
AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



tikalía

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

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La **Revista Tikalia** 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);

INSTRUCCIONES PARA AUTORES Y GUÍA DE EVALUACIÓN PARA
ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO

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** Descenso del nivel piezométrico en el sector de Canalitos al noreste de la ciudad de Guatemala y afectación del agua subterránea.
- 15** El cálculo de biodiversidad. Parte II. Diversidad beta y gamma.
- 37** Resumen de Tesis de Grado.
- 69** Instrucciones para autores y guía de evaluación para aceptación de artículo.

Publicación indexada en:



www.latindex.unam.mx