



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



Vol. XXXV, No. 2



Guatemala,
Julio - Diciembre 2017

**Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Junta Directiva del 2017

Ing. Agr. Mario Godínez López	Decano
Ing. Agr. Juan Herrera	Secretario Académico
Dr. Tomás Padilla Cámbara	Vocal I
Ing. Agr. César Linneo García	Vocal II
Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro	Vocal III
P. Agr. Walfer Yasmany Godoy	Vocal IV
P. Cont. Neidy Yassnine Juracán M.	Vocal V

Consejo Editorial

Ing. Agr. Mario Godínez López (Presidente)
Pdsta. Dennis Escobar Galicia (Secretario)
Dr. Hugo Cardona Castillo
Dr. Exequiel López
Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
Lic. José María Santos
Br. Marco Yordano Hernández

Revista 
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Guatemala
Teléfonos: (502) 2476-9770
Fax: (502) 2476-9770
Correo electrónico: comited.agro@usac.edu.gt

Editor:
Dennis Orlando Escobar Galicia

PRESENTACIÓN

Revista TIKALIA (Volumen XXXV, No. 2-2017. Julio-Diciembre) publicación científica semestral de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, catalogada en Latindex (www.latindex.unam.mx) contiene los artículos siguientes:

«DESARROLLO DE HÍBRIDOS INTERESPECIES PARA INCREMENTAR LA BIOMASA DE GINSENG Y EL RENDIMIENTO DE GINSENÓSIDOS», de Yu-Jin Kim, Jenniffer Silva, Dabing Zhang, Jianxin Shi, Sunh Chul Joo, Moon-Gi Jang, Woo-Saeng Kwon, Deok-Chun Yang. Esta investigación provee un sistema práctico para la producción de híbridos recíprocos de ginseng, a fin de facilitar la producción de dicha planta en el futuro. Su importancia radica en que el ginseng es una de las hierbas más importantes con prominentes efectos farmacéuticos, contribuidos principalmente por los ginsenósidos bioactivos presentes en la raíz. En el estudio se presenta el desarrollo de un sistema para producir plantas híbridas de ginseng, ajustando el tiempo de floración y la remoción manual de las anteras y la polinización artificial.

«ACUÍFEROS DE GUATEMALA», de Isaac Rodolfo Herrera. El objetivo de esta investigación es conocer las características hidrogeológicas de los acuíferos guatemaltecos, principalmente espesores saturados, parámetros hidráulicos, caudales y niveles de agua subterránea. El producto del estudio contiene la distribución espacial, presencia y ocurrencia del agua subterránea dentro de Guatemala. Los da-

tos sobre la heterogeneidad de los acuíferos obtenidos de perfiles geológicos combinado con los datos hidráulicos, estimados a partir de ensayos de bombeo, han posibilitado mejorar la caracterización y evaluación cualitativa de las aguas subterráneas.

«REGISTRO PRELIMINAR DE LA BIODIVERSIDAD DE MACROINSECTOS PRESENTES EN EL AGROECOSISTEMA CAFÉ (*Coffea arabica*) BAJO CONDICIONES EN LA FINCA SABANA GRANDE, ALDEA EL RODEO, ESCUINTLA, GUATEMALA», de Carlos Humberto González Vásquez. Este estudio se enfocó en el conocimiento de la biodiversidad que presenta el agroecosistema café, establecido en la finca Sabana Grande, situada en la aldea El Rodeo, Escuintla. Además contiene un registro preliminar de macroinsectos que tiene como fin establecer una base técnica para estudios posteriores relacionados con la misma biodiversidad, su biología, su función en el agroecosistema y su relación con la naturaleza para que podamos disfrutar de sus beneficios a través de sus productos y riqueza biológica.

Finalmente, se incluye una sección que da cabida a varios resúmenes de tesis de las carreras que se imparten en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los editores.

CONTENIDO

- 7 **DESARROLLO DE HÍBRIDOS INTERESPECIES
PARA INCREMENTAR LA BIOMASA DE GINSENG
Y EL RENDIMIENTO DE GINSENÓSIDOS**

Autores:

Yu-Jin Kim
Jeniffer Silva
Dabing Zhang
Jianxin Shi
Sung Chul Joo
Moon-Gi Jang
Woo-Saeng Kwon
Deok-Chun Yang

- 35 **ACUÍFEROS DE GUATEMALA**

Autor:

Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez

- 57 **REGISTRO PRELIMINAR DE LA BIODIVERSIDAD
DE MACROINSECTOS PRESENTES EN EL
AGROECOSISTEMA CAFÉ (*COFFEA ARABICA*),
BAJO CONDICIONES DE LA FINCA SABANA
GRANDE, ALDEA EL RODEO, ESCUINTLA,
GUATEMALA.**

Autor:

Carlos Humberto González Vásquez

- 81 **RESÚMENES DE TESIS**
-

- 95 **Instrucciones para los autores**



DESARROLLO DE HÍBRIDOS INTERESPECIES PARA INCREMENTAR LA BIOMASA DE GINSENG Y EL RENDIMIENTO DE GINSENÓSIDOS

Autores:

Yu-Jin Kim¹,
Jeniffer Silva²,
Dabing Zhang^{3,4},
Jianxin Shi³
Sung Chul Joo¹
Moon-Gi Jang¹
Woo-Saeng Kwon¹
Deok-Chun Yang^{1,2}

Recibido el 14 de julio de 2017.

Aprobado el 17 de agosto de 2017.

¹Departamento de Biotecnología de Medicina Oriental, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Kyung Hee, Corea.

²Escuela de Postgrado de Biotecnología y del Banco de Germoplasma de Ginseng, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Kyung Hee, Corea.

³Centro de Colaboración de la Universidad Shanghai Jiao Tong – Universidad de Adelaide para la agricultura y la salud, Facultad de Ciencias de la Vida y Biotecnología, Universidad Shanghai Jiao Tong, China.

⁴Escuela de Agricultura, Alimentación, y Vino, Universidad de Adelaide, Australia.

RESUMEN

Ginseng es una de las hierbas más importantes con prominentes efectos farmacéuticos, contribuidos principalmente por los ginsenósidos bioactivos presentes en la raíz. Sin embargo, la industria de ginseng está impedida en gran parte por las características biológicas de ginseng, porque estas plantas son hierbas perennes de crecimiento lento con baja producción. Para incrementar la producción de ginseng y la cantidad de ginsenósidos, desarrollamos un efectivo sistema de producción usando progenies F_1 obtenidos de cruces recíprocos inter-especies entre dos especies *Panax*: *P. ginseng* y *P. quinquefolius*. A pesar de que las plantas híbridas redujeron su esterilidad masculina, los híbridos F_1 con ya sea origen materno de *P. ginseng* o *P. quinquefolius* mostraron heterosis; los híbridos F_1 tienen raíces más largas y más elevados contenidos de ginsenósidos comparados con las líneas parentales. Evidentemente los híbridos F_1 con origen materno de *P. quinquefolius* tenían mayores contenidos de ginsenósidos, especialmente los ginsenósidos Re y Rb1, en comparación con los híbridos de origen materno de *P. ginseng*. Adicionalmente, el perfil metabólico no-dirigido mostró un claro aumento en el número de metabolitos primarios y secundarios, incluyendo ácidos grasos, aminoácidos, y ginsenósidos en las plantas híbridas. Para identificar de forma efectiva los híbridos F_1 de cultivos a gran escala, desarrollamos un sistema de detección de marcadores moleculares para discriminar híbridos recíprocos F_1 . En resumen, este trabajo provee un sistema práctico para la producción de híbridos recíprocos de ginseng, que busca facilitar la producción de ginseng en el futuro.

Development of interspecies hybrids to increase ginseng biomass and ginsenoside yield

ABSTRACT

Ginseng is one of the most important herbs with valued pharmaceutical effects contributing mainly by the presence of bioactive ginsenosides in the roots. However, ginseng industry is impeded largely by its biological properties, because ginseng plants are slow-growing perennial herbs with lower yield. To increase the ginseng yield and amounts of ginsenosides, we developed an effective ginseng production system using the F_1 progenies obtained from the interspecific reciprocal cross between two *Panax* species: *P. ginseng* and *P. quinquefolius*. Although hybrid plants show reduced male fertility, F_1 hybrids with the maternal origin either from *P. ginseng* or *P. quinquefolius* displayed heterosis; they had larger roots and higher contents of ginsenosides as compared with non-hybrid parental lines. Remarkably, the F_1 hybrids with the maternal origin of *P. quinquefolius* had much higher ginsenoside contents, especially ginsenoside Re and Rb1, than those with the maternal origin of *P. ginseng*. Additionally, non-targeted metabolomic profiling revealed a clear increase of a large number of primary and secondary metabolites including fatty acids, amino acids and ginsenosides in hybrid plants. To effectively identify the F_1 hybrids for the large-scale cultivation, we successfully developed a molecular marker detection system for discriminating F_1 reciprocal hybrids. In summary, this work provided a practical system for reciprocal hybrid ginseng production, which would facilitate the ginseng production in the future.

INTRODUCCIÓN

Las plantas medicinales son importantes para la mejora de la salud humana. Ginseng es conocido como el rey de las plantas herbáceas, se han consumido hace aproximadamente 5000 años en Asia, y más recientemente en los países occidentales. Como unas de las hierbas más vendidas, el valor total del mercado global de las plantas de ginseng (principalmente dos géneros de ginseng: *Panax ginseng* Meyer y *P. quinquefolius* L.) en 2013 era de unos \$2000 millones de dólares (Baeg y So 2013). El género *Panax* pertenece a la familia Araliaceae e incluye 17 especies incluyendo *P. ginseng* (llamado ginseng asiático/coreano) cultivado en Corea, el norte de China, y Rusia, y *P. quinquefolius* (llamado ginseng americano) cultivado en Canadá y Estados Unidos (Lim et al., 2005, Sharma y Pandit, McGraw et al., 2013, Kim et al., 2015b).

P. ginseng y *P. quinquefolius* son especies tetraploides ($2n = 4x = 48$), son hierbas perennes de crecimiento lento con raíces de 1 o 2 fascículos, que se asemejan a la forma de un humano, por ello que se llama Ginseng traducido de la palabra china “Renshen” (Duke 2000). A partir del tercer año de crecimiento, las plantas de *P. ginseng* producen inflorescencia y flores primordiales, y florecen para su reproducción. Las plantas de ginseng producen flores bisexuales que pueden auto-polinizar. Desde el cuarto hasta el octavo año de crecimiento, las raíces de ginseng aumentan en tamaño y pueden ser cosechadas para uso farmacéutico (Kim et al., 2015b).

Los ginsenósidos, un grupo de glucósidos triterpénicos, que se encuentran exclusivamente en el género *Panax*, han sido demostrados como los principales productos químicos farmacológicos en las plantas de *Panax*. Hasta ahora, hay más de 150 ginsenósidos naturalmente identificados a partir de especies de *Panax* (Christensen 2008), y diferentes especies de *Panax* tienen distintos perfiles de ginsenósidos (Choi 2008). En general, se encuentran 38 y 19 ginsenósidos en *P. ginseng* y *P. quinquefolius*,

respectivamente. *P. quinquefolius* tiene un alto contenido relativo de ginsenósidos totales, mientras que *P. ginseng* contiene una diversidad relativa más amplia de tipos de ginsenósidos con una mejor eficacia farmacológica (Choi 2008). Además, estas dos especies contienen diferentes tipos de ginsenósidos; por ejemplo, el ginsenósido Rf se encuentra en *P. ginseng* pero no en *P. quinquefolius*, mientras que el ginsenósido Rg8 se encuentra en *P. quinquefolius* pero no en *P. ginseng* (Choi 2008). Estos hallazgos sugieren que *P. ginseng* y *P. quinquefolius* desarrollan sistemas genéticos diversificados para producir ginsenósidos diversificados (Kim et al., 2015b).

La heterosis, también llamada vigor híbrido, se refiere al fenómeno de que el descendiente híbrido derivado de un cruzamiento de dos progenitores muestra mayor rendimiento y biomasa en relación con las plantas parentales debido a cambios complejos en los niveles de red genética, epigenética, bioquímica y reguladora, aunque los mecanismos siguen siendo elusivos (Schnable y Springer 2013, Chen y Liu 2014, Greaves et al., 2015, Miller y otros, 2015). La tecnología híbrida ha sido ampliamente utilizada en la agricultura y la horticultura, y las plantas híbridas han demostrado tener un aumento del 15-50% de rendimiento en comparación con las variedades inbred (Tester y Langridge 2010). Para intentar aumentar el rendimiento de ginseng y los contenidos de ginsenósidos, se llevó a cabo un cruzamiento recíproco interespecífico (Figura 1a) para generar progenie F_1 entre dos especies *Panax*, *P. ginseng* y *P. quinquefolius*.

Aunque las plantas híbridas F_1 entre las dos especies mostraron esterilidad masculina completa, las plantas híbridas mostraron una fuerte heterosis en los niveles de biomasa y ginsenósidos, lo que se evidenció por el aumento de las actividades metabólicas en las plantas híbridas como lo reveló el análisis metabólico no-dirigido. Además, desarrollamos marcadores moleculares efectivos para determinar la identidad materna de los híbridos recíprocos, lo que sería útil en la producción de híbridos de ginseng y en el análisis genético futuro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Para producir los híbridos interespecíficos, Pg/PqyPq/Pg, primero, de flores cerradas removimos el polen inmaduro conteniendo el pistilo, cuidando de no dañar el estigma, y luego realizamos la polinización cruzada artificial del polen maduro en los estigmas de las plantas maternas (Figura 1a). Luego, cubrimos los estigmas polinizados con bolsas de papel para evitar polinización indeseada. La semilla del híbrido cruzado entre Pg/Pqy Pq/Pg se obtuvo a partir de frutos maduros y se cultivó como progenie F_1 . Los híbridos de cinco años producidos entre Pg/Pq y Pq/Pg se recolectaron del campo de ginseng en la provincia de Gochang, República de Corea (35°23'56"N, 126°33'26"E) el 11 de noviembre de 2014. La longitud de la raíz y el peso fresco se midieron a partir de 35 plantas individuales. Las raíces se congelaron en nitrógeno líquido y se molieron en polvo fino para su análisis.

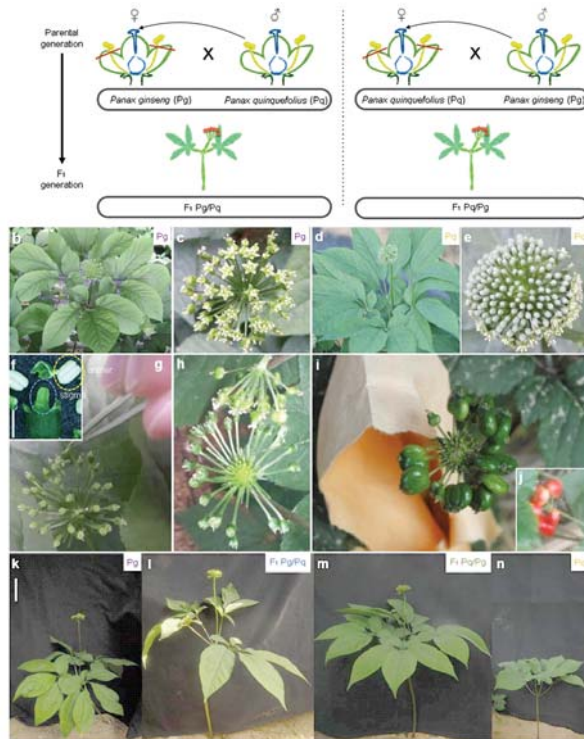


Figura 1. Sistema de cruzamiento recíproco interespecies entre *Panax ginseng* y *Panax quinquefolius*. **a** Esquema de cruzamiento para generar híbridos interespecíficos F1Pg/Pq (en la izquierda) y F1Pq/Pg (en la derecha). Morfología de **b** la planta de *P. ginseng* y **c** su inflorescencia, **d** Planta de *P. quinquefolius* y **e** su inflorescencia. **f** Flor de *P. ginseng* con anteras emasculadas (parental materno), barra 1 mm. Polinización artificial para **g** Pg/Pq y **h** Pq/Pg. **i** Inflorescencia fertilizada de híbridos F1. **j** Frutos maduros de híbridos F1 hybrid para progenie BC1F1 progeny por polinización con ginseng de dos años de edad. Fenotipo del crecimiento de planta de *P. ginseng*, **l** planta de F1Pg/Pq, **m** planta de F1Pq/Pgy, **n** planta de *P. quinquefolius*, bar 10 cm.

Extracción de ADN, amplificación de PCR, y análisis de secuencias

El ADN fue extraído utilizando un kit de extracción de ADN vegetal (Exgene Plant SV mini, Gene All), de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Para identificar cada híbrido F_1 , 43 cebadores universales fueron probados, 35 de mt ADN (Duminil et al. 2002) y 8 de cp DNA (Kim y Lee 2004). La amplificación por PCR con pares de cebadores individuales se realizó en un volumen final de 20 μ L, con 20 ng de ADN, 0.5 μ M de cada cebador, y 10 μ L de 2X PCR premix (Genotech, Corea del Sur). La amplificación de PCR se realizó usando un ciclo de pre-desnaturalización de 4 min a 94°C, seguido por 30 ciclos de 30 s a 94°C, 30 s a 58-62°C y 1.5 min a 72°C, seguido de una extensión final de 7 min a 72°C. Los productos de PCR fueron purificados con un kit de Purificación de ADN de PCR (Expin™ PCR SV, Gene All), de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Las secuencias de ADN de los sets de cebadores obtenidos de la secuenciación y alineaciones múltiples fueron compiladas utilizando el software CLC Workbench (CLC Bio-Qiagen, Aarhus, Dinamarca).

Diseño de cebadores específicos

Para discriminar la herencia materna de cada híbrido F_1 , se diseñaron un total de diez cebadores específicos, tres en cp DNA y siete en ADN mt. Se introdujeron cambios adicionales para garantizar la especificidad. Los cebadores se diseñaron siguiendo estos parámetros: longitud de cebador de 20 a 26 nucleótidos, tamaño de producto de PCR de 150 a 1200 pb, y contenido de GC de 30 a 50%.

Análisis de ginsenósidos por HPLC

Polvo molido (1 g) de raíces liofilizadas de ginseng se sumergió dos veces en una solución de metanol al 80% (v / v) a 70 °C durante 1 h. El extracto se filtró y luego se evaporó para eliminar el líquido. El residuo se disolvió en

agua destilada seguido de extracción con n-butanol saturado con agua. La capa de butanol se evaporó luego para producir la fracción de saponina. Cada muestra se disolvió en metanol (1 g / 5 ml), se filtró usando un filtro de 0.45 μm y luego se usó para el análisis por HPLC. La separación por HPLC se llevó a cabo en un sistema de HPLC de Agilent serie 1260 (Palo Alto, CA, EE.UU.). Este experimento empleó una columna C18 (250 \times 4.6 mm, ID 5 μm) usando agua destilada (disolvente A) y acetonitrilo (disolvente B), con un caudal de 1,6 ml / min y el gradiente siguiente: relaciones A / B de 80,5: 19,5 durante 0-29 min, 70:30 durante 29-36 min, 68:32 durante 36 - 45 min, 66:34 durante 45-47 min, 64,5: 35,5 durante 47-49 min, 0: 100 durante 49-61 min y 80,5: 19,5 durante 61-66 min. La muestra se detectó a una longitud de onda de 203 nm. El análisis cuantitativo se realizó mediante un método de curva de un punto utilizando estándares externos de ginsenósidos auténticos (Oh et al. 2014).

Microscopía de luz para sección semi-delgada

Las inflorescencias de ginseng se fijaron usando alcohol de ácido formalinacético (FAA, 50% de etanol, 5% de ácido acético glacial, 3,7% de formaldehído). Las muestras fijas se deshidrataron en una serie graduada de etanol (70, 80, 90 y 100%) durante 30 minutos para cada serie, y luego se incorporaron en resina de polimerización en frío Technovit 7100 de KULZER (Heraeus Kulzer GmbH Philipp-Reis-Straße 8/13 , D-61,273 Wehrheim / Ts) mediante tres etapas de pre infiltración, infiltración, e incrustación a 45°C. Las muestras ya incrustadas se seccionaron a 3-4 μm de espesor, usando un ultramicrotomo Ultratome III (LKB) y se tiñeron con azul de toluidina O al 0.25% (Chroma Gesellschaft Shaud) a 42 °C. Las fotografías de campo brillante de las secciones de anteras se tomaron usando un microscopio Nikon ECLIPSE 80i y una cámara digital Nikon DXM1200 (Kim et al., 2015 a).

Perfilado de metabolitos

Las raíces se pulverizaron, 40 mg de polvo liofilizado por muestra se utilizó para la extracción de metabolitos a temperatura ambiente, utilizando 400 µl de metanol que contenía los estándares de recuperación. Los metabolitos se analizaron utilizando tres plataformas analíticas independientes: UPLC/MS/MS optimizado para especies básicas, UPLC/MS/MS optimizado para especies ácidas; y GC/MS (Oliver et al., 2011, Xu et al., 2012). Información detallada sobre estas plataformas ha sido publicada, incluidos instrumentos, adquisición y procesamiento de datos, e identificación y cuantificación de compuestos (Evans et al., 2009; Clarke et al., 2013). Para la plataforma LC, se realizaron separación cromatográfica y espectros de masas de barrido completo para registrar el tiempo de retención, relación masa-carga y MS/MS² de todos los iones detectables. Para la plataforma GC, las muestras se derivatizaron con bistrimetil-sililtrifluoro acetamida, y se midió el tiempo de retención y la relación masa-carga para todos los iones detectables. Las características iónicas de las muestras se emparejaron de una manera automatizada frente a las bibliotecas de referencia construidas internamente de entradas químicas estándar para la identificación de metabolitos. Para cada plataforma, se creó la biblioteca de referencia utilizando aproximadamente 1500 normas auténticas que se analizaron en múltiples concentraciones y en las mismas condiciones que las muestras experimentales.

Se utilizaron conteos de iones máximos integrados para comparar la abundancia relativa de un metabolito en cada muestra. Para la normalización de los datos, los recuentos de la zona bruta se dividieron por su valor medio y los valores faltantes para un determinado metabolito se imputaron con el mínimo observado para el análisis estadístico, suponiendo que estaban por debajo de los límites de la sensibilidad de detección del instrumento. Los mapas de calor de los metabolitos se visualizaron utilizando Multi Experiment

Viewer (MeV) versión 4.8 (Saeed et al., 2003). Los valores de p correspondientes de significación estadística ($p \leq 0.05$), así como aquellos cercanos a ser estadísticamente significativos ($0.05 < p < 0.10$) se calcularon por los resultados T .

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos fenotípicos se realizó mediante la prueba t de Student en comparación con las líneas parentales ($*p < 0.05$, $**p < 0.01$).

Resultados

Desarrollo de híbridos de ginseng a través de cruzamientos recíprocos entre

P. ginseng* y *P. quinquefolius *P. ginseng* y *P. quinquefolius* mostraron una estructura de flor similar pero diferentes tiempos de floración (Figura 1b-e). *P. quinquefolius* florece alrededor de 30 días después que *P. ginseng*, dificultando los cruzamientos. Para que las plantas de *P. ginseng* y *P. quinquefolius* florezcan al mismo tiempo, *P. quinquefolius* se cubrió con vinilo para la inducción temprana del brote y la floración. Después de obtener las plantas de *P. ginseng* y *P. quinquefolius* con el mismo tiempo de floración, hicimos cruces recíprocos entre *P. ginseng* y *P. quinquefolius* (Figura 1a). Cuando se usó el *P. ginseng* como parental materno, sus estambres se removieron artificialmente (Figura 1f) y sus estigmas fueron polinizados manualmente con granos de polen de *P. quinquefolius* utilizando pinzas debido a un menor número de granos de polen maduros en la planta masculina (Figura 1g). Cuando *P. quinquefolius* fue parental materno, se retiraron las flores inmaduras en la parte interna y anteras en los brotes cerrados en la parte externa de la inflorescencia de *P. quinquefolius*, y sus estigmas restantes fueron

polinizados artificialmente con polen de *P. ginseng* (Figura 1h). En ambas condiciones, inmediatamente después de la polinización artificial, las inflorescencias polinizadas se cubrieron con bolsas de papel para evitar la fertilización no deseada. La fecundación exitosa fue confirmada visualmente 1 semana más tarde y luego se retiró la bolsa de papel cubierta (Figura 1i). Los frutos completamente maduros de híbridos fueron cosechados aproximadamente 2 meses más tarde, y se estratificaron en arena humidificada durante 3 meses para obtener semillas F_1 maduras.

Después de 4 años de crecimiento, las plantas F_1 germinaron a partir de semillas, las plantas híbridas fueron polinizadas con *P. ginseng* de 2 años de edad (Figura 1j). Las semillas fértiles BC_1F_1 producidas por el cruce entre las plantas F_1 y *P. ginseng* fueron plantadas nuevamente en el campo de ginseng para confirmar la actividad normal de germinación. En el quinto año de crecimiento, las raíces de los híbridos de las líneas individuales de la progenie F_1 se cosecharon para análisis posteriores.

Características fenotípicas de los híbridos recíprocos

Los híbridos F_1 mostraron vigor híbrido no sólo en la parte sobre el suelo (Figura 1k-n), sino también en las raíces en comparación con los parentales, *P. ginseng* y *P. quinquefolius* (Figura 2). Particularmente, en comparación con los parentales, los híbridos interespecíficos F_1 presentaron un tamaño de raíz más grande y/o más peso de raíces frescas (Figura 2a). A pesar de que la longitud de raíz de F_1 Pg/Pq fue menor que la del parental materno (Pg) (Figura 2a), el peso de raíz de F_1 Pg/Pq fue mayor, 1.36 veces más que el del parental materno (Figura 2b). F_1 Pq/Pg mostró características fenotípicas superiores con respecto a la longitud de la raíz y el peso de la raíz con 1.42 veces y 1.89 veces, respectivamente (Figura 2c).

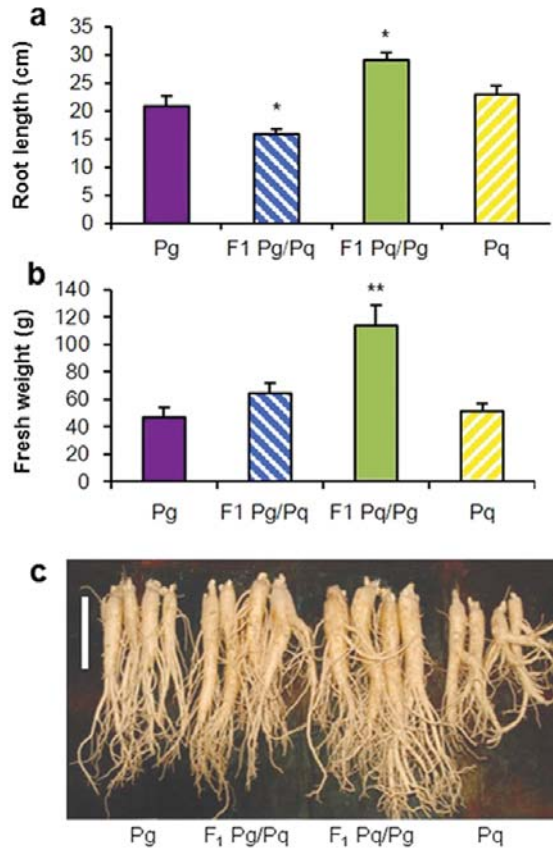


Figura 2. Fenotipo de la raíz de los híbridos recíprocos F_1 y sus parentales después de 5 años de crecimiento en el campo. Comparación de **a** longitud de raíz (cm), **b** peso fresco de raíz (g), y **c** morfología de la raíz, barra 5 cm. Las barras de error indican el error estándar de la media (n para *P. ginseng* = 7, n para F_1 Pg/Pq = 9, n para F_1 Pq/Pg = 10, n para *P. quinquefolius* = 9).

A pesar del aumento del rendimiento de la raíz, los híbridos mostraron esterilidad masculina completa y no formaron semillas por autopolinización. Consistentemente, la sección transversal mostró que la flor de las plantas híbridas de ginseng no podían desarrollar granos de polen normales en la etapa de desarrollo del polen maduro (Figura 3a-d).

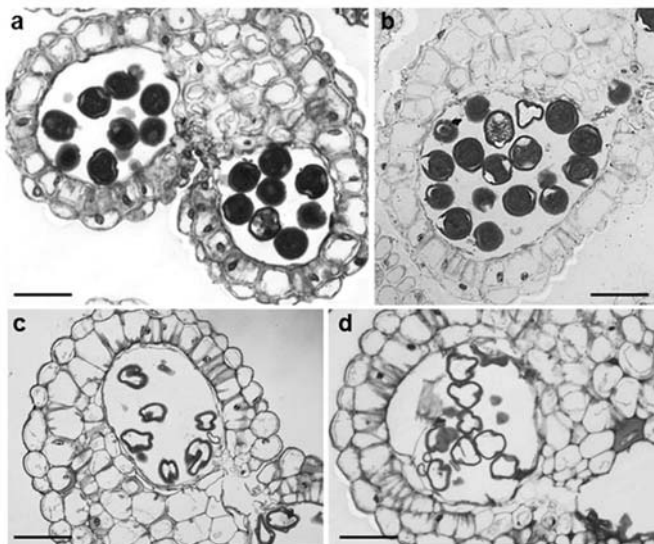


Figura 3. Observación citológica de las anteras de **a** *Panax ginseng*, **b** *P. quinquefolius*, **c** F_1 Pg/Pq, y **d** F_1 Pq/Pgen la etapa 5 del estado de desarrollo. Las secciones de las anteras fueron teñidas con azul de toliudina y fotografiadas con un microscopio de campo abierto. Barra 50 μ m.

Comparación de contenidos de ginsenósidos entre híbridos y sus parentales

Para comparar los perfiles de ginsenósidos entre híbridos y sus parentales, se analizaron ocho ginsenósidos principales mediante cromatografía líquida

de alta resolución (HPLC). Comparado con *P. ginseng* (aproximadamente 20 mg/g), *P. quinquefolius* mostró mayores niveles de ginsenósidos totales (50-100 mg/g). Para nuestra sorpresa, las cantidades de ginsenósidos totales en las raíces de los híbridos F_1 fueron significativamente mayores que las de *P. ginseng*, y las raíces F_1 Pq/Pg dominaron la cantidad de ginsenósidos entre las muestras analizadas (Figura 4a). Especialmente, los ginsenósidos Re y Rb1 en los híbridos F_1 , fueron ocho veces mayores que *P. ginseng* (Figura 4b). Adicionalmente, las raíces de *P. ginseng* tenían un nivel mayor de ginsenósido Rg1, y el ginsenósido Rf sólo era detectable en *P. ginseng*, pero no en los híbridos F_1 (Figura 4b), lo que implicaba la posible ruta reguladora diferente para la biosíntesis de ginsenósidos en híbridos y su parentales.

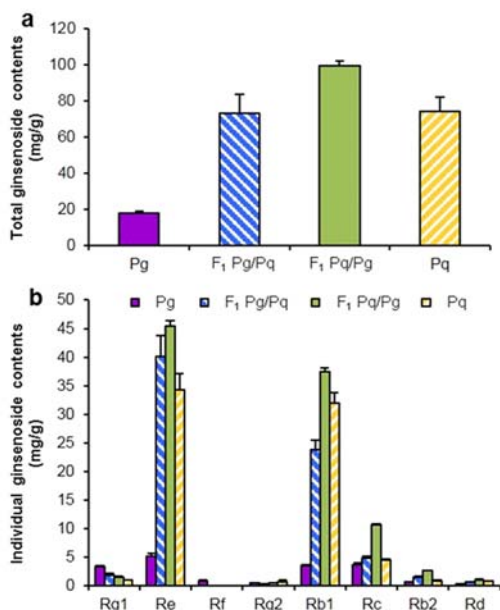


Figura 4. Perfilado de ginsenósidos de los híbridos recíprocos y sus parentales. **a** El contenido total de ginsenósidos fue analizado por HPLC (mg/g), **b** los ginsenósidos mayores correspondientes fueron analizados. Las barras verticales indican los valores de la media \pm ES de tres experimentos independientes.

Cambios metabólicos globales en híbridos y sus parentales

Para adicionalmente comparar la totalidad de los cambios metabólicos entre híbridos de ginseng y sus parentales, llevamos a cabo un análisis global no-dirigido. Utilizando una plataforma metabólica bien establecida combinando GC/MS y UPLC/MS/MS (Oliver et al. 2011; Xu et al. 2012; Rao et al. 2014; Lin et al. 2014; Kim et al. 2015a), 329 metabolitos con estructuras conocidas fueron identificados de entre un total de 449 metabolitos detectables en las mismas muestras de raíces. Estos metabolitos identificados cubrieron nueve rutas super-metabólicas y 45 sub-rutas, según lo definido por la Red Metabólica Vegetal (PMN) (<http://www.plantcyc.org/>) y la Enciclopedia de Genes y Genomas de Kyoto (KEGG) (<http://www.genome.jp/kegg/>), incluyendo metabolitos primarios que cubren la mayoría de los aminoácidos y sus derivados, carbohidratos, lípidos, CPGECs (cofactores, grupos protésicos y portadores de electrones), nucleótidos, así como 26 metabolitos secundarios que contienen 10 ginsenósidos. En particular, hubo una variación significativa del análisis de componentes principales (PCA) entre las tres muestras de híbridos recíprocos F_1 , lo que se explica por el origen genético diferente de las plantas híbridas F_1 . A pesar de la baja significancia de los datos de los híbridos F_1 , PCA podría claramente separar híbridos F_1 con diferente combinación recíproca y de las líneas parentales (Figura 5). Por otra parte, el análisis de conglomerados reveló cambios considerables entre los híbridos y las plantas maternas, en particular los niveles de una amplia gama de metabolitos tales como aminoácidos, carbohidratos, ácidos grasos, cofactores y metabolitos secundarios fueron significativamente más altos en el ginseng híbrido que en las plantas parentales (Figura 6). De los 178 metabolitos significativamente cambiados en los híbridos F_1 , 91 y 23 metabolitos aumentaron y disminuyeron, respectivamente, en híbridos F_1 . Estos químicos alterados, aminoácidos, carbohidratos, ácidos grasos y sus derivados son los elementos fundamentales para el crecimiento de las plantas, y pueden desempeñar un papel importante en el equilibrio de carbono/nitrógeno en el

desarrollo de raíces maduras. En asociación con la reducción de los lípidos de membrana, la concentración de ácidos grasos libres y derivados, incluyendo 2-hidroxipalmitato, palmitato de 2-hidroxilo, palmitato (16:0) y margarato (17:0) se elevó específicamente F_1 Pq/Pg en comparación con los parentales. Además, la acumulación de metabolito precursor para el ácido jasmónico (JA) 13-HODE+9-HODE en F_1 Pq/Pg (aproximadamente cuatro veces en comparación con *P. ginseng*) sugirió un sistema de defensa mejorado en los híbridos. Adicionalmente, de acuerdo con el análisis anterior sobre ginsenósidos, nuestro análisis no-dirigido también reveló el aumento de la cantidad de ginsenósidos en híbridos F_1 en comparación con *P. ginseng*, excepto la disminución de los ginsenósidos Rg1 y Rf, siguiendo el patrón del perfil de *P. quinquefolius*. Sin embargo, el escualeno, precursor de los ginsenósidos y el ginsenósido Rg2 mostraron niveles heteróticos inferiores en los híbridos F_1 .

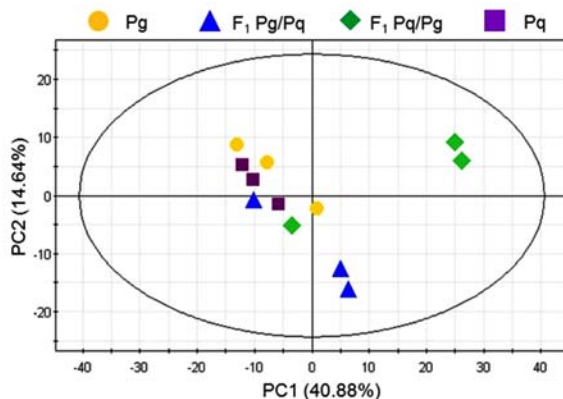
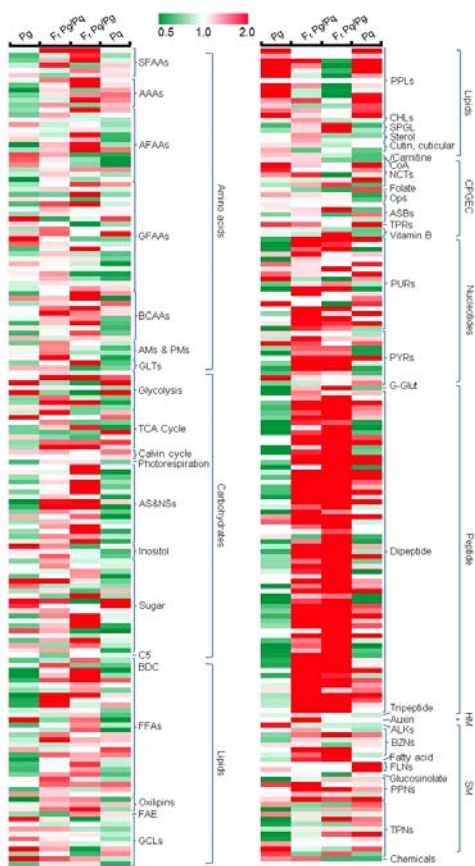


Figura 5. Análisis de componentes principales (PCA) de todo el metaboloma de la raíz de ginseng, realizado por Multi Experiment Viewer, en 329 metabolitos anotados. Las puntuaciones PC1 y PC2 se indican como %. Círculos, triángulos, rombos, and cuadros indican 3 repeticiones biológicas de *P. ginseng* (Pg), F_1 Pg/Pq, F_1 Pq/Pg, and *P. quinquefolius* (Pq), respectivamente.

Figura 6. Análisis de conglomerado de los datos metabolómicos de híbridos recíprocos y sus parentales. La representación del mapa de calor de 329 metabolitos a través de las raíces de *P. ginseng* (Pg), F₁ Pg/Pq, F₁ Pq/Pg, y *P. quinquefolius* (Pq).

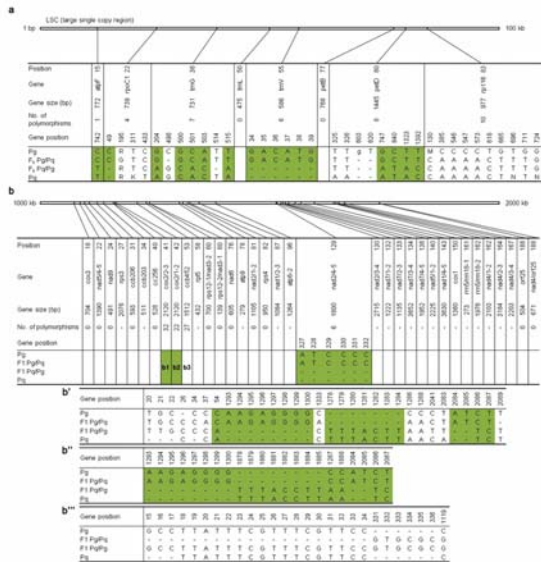


Marcadores moleculares para discriminar híbridos recíprocos

Para analizar polimorfismos de un sólo nucleótido (SNP) específicos para el desarrollo de marcadores moleculares candidatos para discriminar híbridos recíprocos de sus líneas parentales *P. ginseng* y *P. quinquefolius*, primero realizamos un escaneo de PCR de 43 cebadores universales, 35 dirigidos a

secuencias de ADN mitocondrial (mtADN) (Duminil et al., 2002) y ocho dirigidos a ADN de cloroplasto (cpDNA) (Kim y Lee 2004). Después de analizar las secuencias de alineaciones múltiples entre los híbridos y las líneas parentales, detectamos 125 SNPs en siete genes de mtDNA y 36 SNPs en seis genes de cpDNA, como se muestra en la Figura 7. Para desarrollar los marcadores moleculares, utilizamos cuatro SNPs en el mtADN mostrando el origen materno y nueve SNPs en el cpDNA (Figura 7). Finalmente, tres mtADN marcadores SNP basados en los genes *ccb452* (929 bp), *cox2/2-3* (830 bp), y *nad2/4-5* (1268 bp) (Duminil et al. 2002) fueron encontrados para efectivamente discriminar el origen del parental materno de los híbridos F₁ (Figura 8; Cuadro 1).

Figura 7 Las secuencias de *Panax ginseng*, F₁reciprocal hybrids, y *Panax quinquefolius* mostrando los SNPs dentro del ADN de cloroplasto y mitocondrial. **a** Polimorfismos de nucleótidos en el ADN del cloroplasto. **b** Polimorfismos de nucleótidos en el ADN mitocondrial, **b'** polimorfismos de nucleótidos en el gen *cox2/2-3*, **b''** polimorfismos de nucleótidos en el gen *cox2/1-2*, **b'''** polimorfismos de nucleótidos en el gen *ccb452*. A partir de 43 sets de cebadores, los nucleótidos polimórficos que siguen a la herencia materna están indicados por el color verde: *atpF*, *rpoC1*, *trnG*, *trnV*, *petD* de cpDNA y *cox2/2-3*, *cox2/1-2*, *ccb452*, *nad2/4-5* de mtDNA; 0 indica que no se han encontrado polimorfismos; indica que no hay amplificación.



Además, un marcador previamente desarrollado para *P. ginseng* cv. Chunpoong basado en un gen nuclear que codifica major latex-like protein (*MLP*) (Sun et al., 2010a, b, c) se utilizó en combinación con los tres últimos marcadores SNP. El fragmento de 682 pb de *MLP* fue detectable para *P. quinquefolius*, y dos fragmentos, 321 y 181 pb, fueron detectables para *P. ginseng*, mientras que los tres fragmentos fueron amplificados en híbridos F_1 (Figura 8). Cuando combinamos los marcadores SNP mt DNA con el cebador de *MLP*, F_1 Pg/Pq se puede identificar usando *ccb452* (929-bp) y *cox 2/2-3* (830-bp), y F_1 Pq/Pq se puede identificar usando *nad2/4-5* (1268-bp) (Figura 8). Este resultado sugiere que los tres marcadores *ccb 452-MLP*, *cox2/2-3-MLP*, y *nad2/4-5-MLP* pueden efectivamente identificar el origen parental de los híbridos F_1 . Particularmente, el patrón de la herencia materna se puede detectar a través de los marcadores moleculares combinados en los híbridos recíprocos F_1 y las líneas parentales (*P. ginseng*, F_1 Pg/Pq, F_1 Pq/Pq, y *P. quinquefolius*) por PCR multiplex (Figura 8).

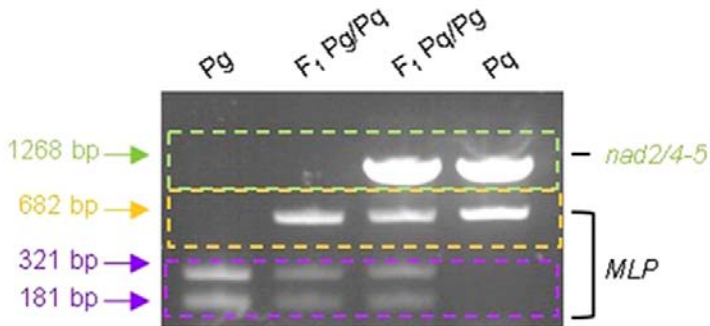


Figura 8. Desarrollo de marcadores moleculares por análisis de PCR multiplex de híbridos interespecíficos F_1 y los parentales. La combinación *nad4/5-MLP* diferencia los híbridos interespecíficos F_1 entre sí y de los parentales.

Discusión

Ginseng es una planta medicinal que se ha utilizado en la medicina oriental durante miles de años. Aunque el género *Panax* consta de al menos 17 especies, *P. ginseng* y *P. quinquefolius* son las especies más utilizadas. *P. ginseng* es la única especie con tres líneas puras y 12 cultivares desarrollados (Sun et al., 2010b). En este estudio, se creó una línea *Panax* superior utilizando cruzamiento genético, que ha sido una técnica eficaz para mejorar la productividad en otras plantas (Moose y Mumm 2008). Puesto que cada especie de *Panax* tiene características únicas relacionadas con su cultivo y eficacia farmacológica, un cruzamiento recíproco interespecífico puede potencialmente mejorar la producción de biomasa y metabolitos útiles.

En este trabajo, las plantas híbridas de ginseng se generaron con éxito mediante la remoción de anteras y la polinización artificial. Observamos que el vigor híbrido está asociado con la combinación genética. Por ejemplo, F_1Pg/Pq muestra menor longitud de raíz en comparación con *P. ginseng*, pero tiene mayor peso fresco. F_1Pq/Pg muestra mayor longitud de raíz y peso en comparación con los parentales y F_1Pg/Pq . Particularmente, F_1Pq/Pg tiene alrededor de 75-90% de aumento de peso fresco en comparación con los parentales. Estas observaciones nos llevaron a suponer que la variación fenotípica de los híbridos es probablemente asociada con diferentes antecedentes genéticos. Nuestra observación sobre la heterosis en ginseng destaca los efectos maternos sobre la heterosis, que es similar a *Arabidopsis* pero diferente del arroz (Miller et al., 2012; Shen et al., 2015). En cuanto a los híbridos de *Arabidopsis*, la heterosis de la biomasa se correlaciona con un mayor nivel de actividad metabólica, y depende del parental materno (Meyer et al., 2012). En este trabajo también se observó el aporte de origen materno de *P. quinquefolius* al vigor de crecimiento y metabolitos, incluyendo ginsenósidos en híbridos F_1 (Figuras 2, 4 y 6). El análisis en

híbridos recíprocos también reveló que algunos cambios de metabolitos fueron causados por efectos maternos (Figura 6).

Se observó un notable aumento del nivel de ácidos grasos y derivados en los híbridos recíprocos, en particular F_1Pq/Pg , lo que sugiere que la heterosis puede estar asociada con el metabolismo de los lípidos y afecta a la biomasa en este ginseng híbrido, similar al de *Arabidopsis* (Meyer et al. 2012, Fujimoto y otros, 2012, Greaves y otros, 2015). Los lípidos de membrana movilizados también pueden proporcionar las moléculas de defensa tales como oxilipinas, cera y cutina (Khajuria et al., 2013). De acuerdo con la disminución de los fosfolípidos y el aumento de los ácidos grasos, y el precursor de JA se incrementó en F_1Pq/Pg , lo que indica que el ginseng híbrido puede tener un sistema de defensa mejorado. Además de la alteración del metabolismo de los lípidos, el ginseng híbrido también tiene un mayor nivel de solutos compatibles, como la betaína, la glicina y el manitol, que pueden estar asociados con la tolerancia al congelamiento (Meyer et al., 2012; Además, el nivel disminuido de NAD y nucleótidos de purina que están asociados con la homeostasis redox celular de la planta bajo estrés oxidativo (Noctor et al., 2006) en ginseng híbrido, particularmente F_1Pq/Pg , sugiere la mayor adaptabilidad del híbrido a la condición de estrés ambiental.

Por otra parte, las plantas de ginseng híbrido mostraron un mayor contenido de ginsenósidos en comparación con *P. ginseng*, en particular para los ginsenósidos Re y Rb1 (Figura 4b). El aumento de ginsenósidos en híbridos podría estar relacionado con el aumento de la biosíntesis de ginsenósidos por los ácidos grasos / JA o la señalización ROS (Kim et al., 2015b, Rahimi et al., 2015). Curiosamente, el contenido de ginsenósidos de F_1Pq/Pg es mayor que el de F_1Pg/Pq , lo que indica que la herencia materna de *P. quinquefolius* puede contribuir a la acumulación de ginsenósidos. En la actualidad, la información limitada sobre el genoma no permite la elucidación del represor o activador de la biosíntesis de ginsenósidos, pero será muy

emocionante dilucidar el mecanismo molecular que controla la síntesis de ginsenósidos, particularmente el patrón de herencia materna de las especies de *Panax*.

Además, en este estudio desarrollamos un set de marcadores moleculares para discriminar de forma efectiva los híbridos recíprocos F₁ y el origen parental materno (Figuras 7, 8). Debido a que el modo de herencia de las especies de *Panax* no está elucidado, esto condujo a la utilización del patrón de herencia materna como funciona en otras plantas de angiospermas (Medgyesy et al., 1986, Wagner et al., 1987, Neale y Sederoff, 1989, Sutton et al., 1991; Chat et al., 1999). Del escaneo de cp y mt-ADN, se obtuvieron dos marcadores moleculares específicos para F₁Pg/Pq y uno para F₁Pq/Pg, basado en secuencias conservadas de exones de regiones demtDNA. Los híbridos recíprocos F₁ fueron fácilmente discriminados entre sí y de los parentales maternos en un PCR multiplex a través de las tres combinaciones de cada set de cebadores mitocondriales con el set de cebador nuclear. La exactitud del ensayo de PCR multiplex se verificó mediante la identificación de 15 híbridos recíprocos F₁ interespecíficos. Todos estos resultados indican que el ensayo de PCR multiplex descrito aquí es un método preciso, rápido, y eficiente para identificar y diferenciar híbridos interespecíficos F₁ en ginseng.

CONCLUSIONES

En este estudio presentamos el desarrollo de un sistema para producir plantas híbridas de ginseng ajustando el tiempo de floración, y la remoción manual de las anteras, y la polinización artificial. Las plantas F_1 que muestran heterosis tanto en biomasa como en ginsenósidos serán útiles para la industria del ginseng. La heterosis híbrida de las plantas de ginseng puede estar asociada con el metabolismo evaluado. Además, el efecto de origen maternal en algunos metabolitos, incluidos los metabolitos secundarios, se observó en los híbridos recíprocos, lo que sugiere la complejidad del control genético entre los núcleos y el citoplasma en el ginseng híbrido. Además, también se desarrolló un sistema de marcadores moleculares para la identificación genética del origen maternal del híbrido, que proporciona un enfoque eficaz para identificar los híbridos recíprocos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Programa de Intercambio de Jóvenes Científicos entre la República de Corea (NRF) y la República Popular de China (MOST) y NRF (2013R1A1A2064430) (YJ Kim); Instituto Coreano de Planificación y Evaluación para la Tecnología en Alimentos, Agricultura, Silvicultura y Pesca (iPET, 112142-05-1-CG000), República de Corea (WS Kwon, DC Yang); los fondos del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MOST; 2015DFG32560), Equipo de Investigación Innovadora de China, Ministerio de Educación; 111 Project (B14016), China (DB Zhang).

LITERATURA CITADA

- Baeg IH, So SH (2013). The world ginseng market and the ginseng (Korea). *J Ginseng Res* 37:1–7
- Chat J, Chalak L, Petit RJ (1999). Strict paternal inheritance of chloroplast DNA and maternal inheritance of mitochondrial DNA in intraspecific crosses of kiwifruit. *TheorAppl Genet* 99:314–322
- Chen ZJ (2013). Genomic and epigenetic insights into the molecular bases of heterosis. *Nat Rev Genet* 14:471–482
- Chen L, Liu YG (2014). Male sterility and fertility restoration in crops. *Annu Rev Plant Biol* 65:579–606
- Choi KT (2008). Botanical characteristics, pharmacological effects and medicinal components of Korean *Panax ginseng* C A Meyer. *ActaPharmacol Sin* 29:1109–1118
- Christensen LP (2008). Ginsenosides. chemistry, biosynthesis, analysis, and potential health effects. *Adv Food Nutr Res* 55:1–99
- Clarke JD (2013). Assessment of genetically modified soybean in relation to natural variation in the soybean seed metabolome. *Sci Rep* 3:3082–3087
- Duke JA (2000). *The green pharmacy herbal handbook: your comprehensive reference to the best herbs for healing*. Rodale Press, Pennsylvania
- Duminil J, Pemonge MH, Petit RJ (2002). A set of 35 consensus primer pairs amplifying genes and introns of plant mitochondrial DNA. *Mol Ecol Notes* 2:428–430
- Evans AM, DeHaven CD, Barrett T, Mitchell M, Milgram E (2009). Integrated, nontargeted ultrahigh performance liquid chromatography/ electrospray ionization tandem mass spectrometry platform for the identification and relative quantification of the small-molecule complement of biological systems. *Anal Chem* 81:6656–6667
- Fujimoto R, Taylor JM, Shirasawa S, Peacock WJ, Dennis ES (2012). Heterosis of *Arabidopsis* hybrids between C24 and Col is associated with increased photosynthesis capacity. *ProcNatlAcadSci USA* 109:7109–7114
- Greaves IK, Gonzalez-Bayon R, Wang L, Zhu A, Liu PC, Groszmann M, Peacock WJ, Dennis ES (2015). Epigenetic changes in hybrids. *Plant Physiol* 168:1197–1205
- Hashida SN, Takahashi H, Uchimiya H (2009). The role of NAD biosynthesis in plant development and stress responses. *Ann Bot* 103:819–824
- Khajuria C, Wang H, Liu X, Wheeler S, Reese JC, El Bouhssini M, Whitworth RJ, Chen MS (2013). Mobilization of lipids and fortification of cell wall and cuticle are important in host defense against Hessian fly. *BMC Genom* 14:423
- Kim KJ, Lee HL (2004). Complete chloroplast genome sequences from Korean ginseng (*Panaxschinseng* Nees) and comparative analysis of sequences evolution among 17 vascular plants. *DNA Res* 11:247–261

- Kim YJ, Jang MG, Zhu L, Silva J, Zhu X, Sukweenadhi J, Kwon WS, Yang DC, Zhang D (2015a). Cytological characterization of anther development in *Panax ginseng* Meyer. *Protoplasma*. doi:10.1007/s00709-015-0869-3
- Kim YJ, Zhang DB, Yang DC (2015b). Biosynthesis and biotechnological production of ginsenosides. *Biotechnol Adv* 33:717–735
- Lim W, Mudge KW, Vermeylen F (2005). Effects of population, age, and cultivation methods on ginsenoside content of wild American ginseng (*Panaxquinquefolium*). *J Agric Food Chem* 53:8498–8505
- Lin H, Rao J, Shi J, Hu C, Cheng F, Wilson ZA, Zhang D, Quan S (2014). Seed metabolomic study reveals significant metabolite variations and correlations among different soybean cultivars. *J Integr Plant Biol* 56:826–836
- McGraw JB, Lubbers AE, Van der Voort M, Mooney EH, Furedi MA, Souther S, Turner JB, Chandler J (2013). Ecology and conservation of ginseng (*Panaxquinquefolius*) in a changing world. *Ann NY AcadSci* 1286:62–91
- Medgyesy P, Pay A, Marton L (1986). Transmission of paternal chloroplasts in *Nicotiana*. *Mol Gen Genet* 204:195–198
- Meyer RC, Witucka-Wall H, Becher M, Blacha A, Boudichevskaia A, Dormann P, Fiehn O, Friedel S, von Korff M, Lisek J, Melzer M, Repsilber D, Schmidt R, Scholz M, Selbig J, Willmitzer L, Altmann T (2012). Heterosis manifestation during early *Arabidopsis* seedling development is characterized by intermediate gene expression and enhanced metabolic activity in the hybrids. *Plant J* 71:669–683
- Miller M, Zhang C, Chen ZJ (2012). Ploidy and hybridity effects on growth vigor and gene expression in *Arabidopsis thaliana* hybrids and their parents. *G3 (Bethesda)* 2:505–513
- Miller M, Song Q, Shi X, Juenger TE, Chen ZJ (2015). Natural variation in timing of stress-responsive gene expression predicts heterosis in intraspecific hybrid of *Arabidopsis*. *Nat Commun* 6:7453
- Moose SP, Mumm RH (2008). Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. *Plant Physiol* 147:969–977
- Neale DB, Sederoff RR (1989). Paternal inheritance of chloroplast DNA and maternal inheritance of mitochondrial DNA in loblolly pine. *TheorAppl Genet* 77:212–216
- Noctor G, Queval G, Gakiere B (2006). NAD(P) synthesis and pyridine nucleotide cycling in plants and their potential importance in stress conditions. *J Exp Bot* 57:1603–1620
- Oh JY, Kim YJ, Jang MG, Joo SC, Kwon WS, Kim SY, Jung SK, Yang DC (2014). Investigation of ginsenosides in different tissues after elicitor treatment in *Panax ginseng*. *J Ginseng Res* 38:270–277
- Oliver MJ, Guo L, Alexander DC, Ryals JA, Wone BW, Cushman JC (2011). A sister group contrast using untargeted global metabolomic analysis delineates the biochemical regulation underlying desiccation tolerance in *Sporobolusstapfianus*. *Plant Cell* 23:1231–1248

- Rahimi S, Kim YJ, Yang DC (2015). Production of ginseng saponins: elicitation strategy and signal transductions. *ApplMicrobiolBiotechnol* 99:2996–6987
- Rao J, Cheng F, Hu C, Quan S, Lin H, Wang J, Chen G, Zhao X, Alexander D, Guo L, Wang G, Lai J, Zhang D, Shi J (2014). Metabolic map of mature maize kernels. *Metabolomics* 10:775–787
- Saeed AI, Sharov V, White J, Li J, Liang W, Bhagabati N, Braiseted J, Klapa M, Currier T, Thiagarajan M, Sturn A, Snuffin M, Rezantsev A, Popov D, Ryltsov A, Kostukovich E, Borisovsky I, Liu Z, Vinsavich A, Trush V, Quackenbush J (2003). TM 4: a free, open-source system for microarray data management and analysis. *Biotechniques* 34:374–378
- Schnable PS, Springer NM (2013). Progress toward understanding heterosis in crop plants. *Annu Rev Plant Biol* 64:71–88
- Sharma SK, Pandit MK (2009). A new species of *Panax* L. (Araliaceae) from Sikkim Himalaya, India. *Syst Bot* 34:434–438
- Shen G, Hu W, Zhang B, Xing Y (2015). The regulatory network mediated by circadian clock genes is related to heterosis in rice. *J Integr Plant Biol* 57:300–312
- Sun H, Kim MK, Pulla RK, Kim YJ, Yang DC (2010a). Isolation and expression analysis of a novel *major latex-like protein (MLP151)* gene from *Panax ginseng*. *MolBiol Rep* 37:2215–2222
- Sun H, Lee OR, Kim YJ, Jeong SK, In JG, Kwon WS, Kim SY, Yang DC (2010b). Identification of ‘Chunpoong’ among *Panax ginseng* cultivars using real time PCR and SNP marker. *J Ginseng Res* 34:47–50
- Sun H, Wang HT, Kwon WS, In JG, Lee BS, Yang DC (2010c). Development of molecular markers for the determination of the new cultivar ‘Chunpoong’ in *Panax ginseng* C. A. Meyer associated with a *major latex-like protein* gene. *Bio Pharm Bull* 33:183–187
- Sutton BCS, Flanagan DJ, Gawley JR, Newton CH, Lester DT, El-Kassaby YA (1991). Inheritance of chloroplast and mitochondrial DNA in *Picea* and composition of hybrids from introgression zones. *TheorAppl Genet* 82:242–248
- Suzuki-Yamamoto M, Mimura T, Ashihara H (2006). Effect of short-term salt stress on the metabolic profiles of pyrimidine, purine and pyridine nucleotides in cultured cells of the mangrove tree, *Bruguiera sexangula*. *Physiol Plant* 128:405–414
- Tester M, Langridge P (2010). Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science* 327:818–822
- Wagner DB, Furnier GR, Saghai-Maroo MA, Williams SM, Dancik BP, Allard RW (1987). Chloroplast DNA polymorphism in lodgepole and jack pines and their hybrids. *Proc Natl Acad Sci USA* 84:2097–2100
- Xu YZ, Santamaria Rde L, Virdi KS, Arrieta-Montiel MP, Razvi F, Li S, Ren G, Yu B, Alexander D, Guo L, Feng X, Dweikat IM, Clemente TE, Mackenzie SA (2012). The chloroplast triggers developmental reprogramming when *mutSHOMOLOG1* is suppressed in plants. *Plant Physiol* 159:710–720



ACUÍFEROS DE GUATEMALA

Autor:

Isaac Rodolfo Herrera Ibáñez¹

Recibido el 13 de junio de 2017.

Aprobado el 17 de agosto de 2017.

¹Profesor investigador de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

RESUMEN

En Guatemala existen diferentes grupos de rocas, diferenciadas por sus características de permeabilidad que se agrupan en cuatro sistemas acuíferos: volcánicos, costeros volcánicos, costeros y aluvionales, de areniscas y conglomerados, y carbonatados. El objetivo del estudio es conocer las características hidrogeológicas de los acuíferos, principalmente espesores saturados, parámetros hidráulicos, caudales y niveles de agua subterránea. La investigación fue realizada en varias etapas: recopilación y análisis de la información existente, elaboración de la base de datos geográficos y el mapa de acuíferos. El producto de este proyecto contiene: la distribución espacial, presencia y ocurrencia del agua subterránea dentro de Guatemala. Adicionalmente se llevó a cabo un análisis de los acuífugos o formaciones geológicas que no contienen agua, ni la transmiten, como por ejemplo los granitos y rocas metamórficas. Los datos sobre la heterogeneidad de los acuíferos obtenidos de perfiles geológicos combinado con los datos hidráulicos estimados a partir de ensayos de bombeo, han posibilitado mejorar la caracterización y evaluación cuantitativa de las aguas subterráneas.

Palabras clave: Agua subterránea, rocas, permeabilidad, sistemas, heterogeneidad.

ABSTRACT

In Guatemala exist different groups of rocks, differentiated by their permeability, which were consolidated into four aquifer systems: volcanic, coastal and alluvium, sandstone and conglomerate, and carbonate. The aim of the study is to learn about the groundwater characteristics of the aquifers, principally its saturated thicknesses, and its hydraulic parameters, the flow and water level. The study was executed in several stages: compilation and analysis of existing information, development of the geographic database and map of aquifers. The product of this project includes: spatial distribution, occurrence and presence of groundwater within the Guatemala. Additionally we conducted an analysis of the aquifuge or rock which contains no interconnected openings or interstices and therefore neither absorbs nor transmits water, for example the metamorphic rocks and granite. The data allow recognize the heterogeneity of the aquifer. The match between the vertical sections and the pump test results have made possible to improve the quantitative evaluation of groundwater.

Keywords: Groundwater, rocks, permeability, systems, heterogeneity.

INTRODUCCIÓN

En la República de Guatemala existe una población de 15,438,383 habitantes. El mayor porcentaje de agua que consumen los habitantes es subterránea, incrementándose esta cantidad continuamente debido al crecimiento de la población y al aumento de la contaminación del agua superficial (Herrera, 2015). Esto hace necesario y esencial la evaluación de los acuíferos para tener un mejor conocimiento de los mismos para su aprovechamiento sostenible y con ello poder garantizar el recurso agua para las futuras generaciones (Herrera, 2011).

En Guatemala existen formaciones geológicas permeables que originan acuíferos y las altas precipitaciones pluviales permiten su recarga (Herrera & Brown, 2011). Sin embargo, también existen unidades geológicas no acuíferas llamadas acuífugos.

Un acuífero es un cuerpo rocoso o formación geológica que permite almacenar y transmitir agua en grandes cantidades y de forma continua para ser utilizada como fuente de abastecimiento. La capacidad de transmitir y almacenar el agua se mide por medio de los parámetros de permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento (Escuder et al, 2009).

Los acuíferos se pueden clasificar de acuerdo a sus espacios vacíos como acuíferos porosos y fisurados. Según la presión a la que está sometida el agua contenida en el acuífero se les clasifica como acuíferos libres, confinados y semiconfinados. En los libres el agua está sometida a la presión atmosférica. En los confinados el agua está en cualquier punto del mismo a mayor presión que la atmosférica y por lo tanto, al efectuar una perforación, el agua asciende sin bombeo hasta un nivel superior al del techo del acuífero. El semiconfinado es un acuífero en condiciones similares al acuífero

confinado, pero puede recibir recarga o perder agua a través del techo o la base.

Los acuíferos como reservorios naturales de agua subterránea son de suma importancia para el desarrollo de un país, así como para los procesos de transferencia y almacenamiento del ciclo hidrológico, ya que el agua es vital para un sinnúmero de procesos biológicos y de actividades antrópicas. A partir de los acuíferos se abastecen de agua diversas comunidades, actividades agropecuarias, turísticas e industriales. Sin embargo, la explotación y uso del agua sin planificación y control de las autoridades, generan impactos sobre la cantidad y pone en riesgo el bienestar de la población (Herrera y Orozco, 2010).

En Guatemala el recurso hídrico ha venido sufriendo un gran deterioro y una reducción considerable, debido a varios factores: la variabilidad natural de las lluvias por el cambio climático, la degradación del medio (deforestación, erosión, pastoreo excesivo) y la contaminación del agua, provocada por la incorporación de aguas servidas provenientes de los centros poblados y las industrias (Herrera, Orozco & Mujica, 2011). Por Lo tanto, es de suma importancia conocer las fuentes de aguas subterráneas que se utilizan en el país para abastecer a las diferentes poblaciones, a fin de establecer programas de manejo de acuíferos que involucren la explotación de los mismos, la conservación de áreas de recarga y la mitigación de riesgos de contaminación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron principalmente informes, mapas y perfiles geológicos e hidrogeológicos. La metodología se desarrollo en tres etapas.

La primera etapa comprendió el análisis del mapa geológico editado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:500,000 que se utilizó como marco de referencia para definir los contactos entre las formaciones geológicas que presentan características hidrogeológicas homogéneas, y que permiten delimitar un comportamiento del agua subterránea más o menos constante en cuanto a su sistema acuífero (IGN, 1970). El desarrollo de la clasificación de acuíferos a nivel nacional, se realizó de acuerdo a su génesis o material geológico, que definen variaciones en el tipo de flujo, su espesor, parámetros hidráulicos, caudal de extracción por pozos de agua y profundidad del nivel de agua subterránea.

En la segunda etapa se construyó un mapa de los tipos de acuíferos en la República de Guatemala a escala general 1:2,000,000. Para esto se combinaron las unidades litológicas e hidrogeológicas y las poblaciones más importantes con información de pozos. Por la naturaleza de las principales unidades litológicas, se dividieron en varios tipos de rocas: volcánicas, sedimentarias detríticas (areniscas y conglomerados), rocas carbonatadas, sedimentos aluviales y rocas cristalinas (metamórficas e intrusivas).

La tercera etapa comprendió el análisis e interpretación global de la información. Las características del medio hidrogeológico se expresaron conforme el tipo de roca y la hidroestratigrafía, distinguiéndose los medios porosos y las rocas fisuradas. Los parámetros hidrogeológicos de transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento, fueron calculados por los métodos de Jacob y de Theis, según Kruseman y De Ridder (1994), Custodio y Llamas (2001) y Escuder *et al* (2009).

La transmisividad en m^2/d se clasifico como: alta mayor de 1,000; media de 100 a 1,000; baja de 10 a 100 y muy baja de 1 a 10. La permeabilidad en m/d se agrupo como: alta mayor de 10^3 ; media de $1 - 10^3$; baja de $10^{-2} - 1$; muy baja de $10^{-4} - 10^{-2}$; e impermeable menor de 10^{-4} .

El tipo de acuífero fue definido por el valor del coeficiente de almacenamiento, que en acuíferos libres varía de 0.01 a 0.4 (1 a 40 % de porosidad eficaz), mientras que en acuíferos confinados, el intervalo más frecuente es de 10^{-5} a 10^{-3} y en los acuíferos semiconfinados se presentan valores de 10^{-2} (Escuder et al, 2009). Las producciones de los caudales en L/s se clasifican en: enormes si son mayores de 100; muy grandes de 50 a 100; grandes de 25 a 50; moderadas de 10 a 25; pequeñas de 4 a 10; muy pequeñas de 1 a 4; y escasas menores de 1 (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los cuatro sistemas de acuíferos de Guatemala: volcánicos, sedimentarios que incluyen los costeros y aluvionales, los de areniscas y conglomerados, y los carbonatados. Además se observa la región central de las sierras de Chuacús, de Las Minas y del Merendón, donde se presentan los acuíferos en el país.



Figura 1. Acuíferos de Guatemala.

Acuíferos volcánicos

Estos acuíferos representan las partes altas de las cuencas que drenan al Océano Pacífico, donde se asientan las principales poblaciones del país, como: Ciudad Guatemala, Chimaltenango, Antigua Guatemala, Sololá, Santa Cruz del Quiché, Quetzaltenango, Totonicapán, San Marcos, Cuilapa (Santa Rosa), Jalapa y Jutiapa.

La región volcánica se extiende de este a oeste, en una franja de 350 kilómetros de longitud y 21,698 Km² de área, que representa el 20% del territorio de Guatemala de 108,889 Km² y donde habita el 36 % de la población. Esta región está formada principalmente rocas basálticas, andesíticas, riolíticas y dacíticas en la base que comúnmente se denominan lavas, sobreyacidas por materiales como arenas, bombas, escorias, cenizas y lahares, con espesores de más de 500 m.

Los acuíferos están constituidos por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias, principalmente lavas y tobas, las cuales se encuentran sobre un basamento levantado y formado por rocas ígneas intrusivas, rocas calcáreas y rocas metamórficas. En el basamento se han originado depresiones tectónicas rellenas por depósitos piroclásticos de pómez cuaternarios, que forman planicies y valles.

Los materiales volcánicos constituyen acuíferos con permeabilidad primaria y secundaria, además es un área de recarga hídrica muy importante, con una precipitación pluvial que varía de 1,000 a 2,000 mm/año.

Los acuíferos volcánicos se pueden subdividir en unidades hidrogeológicas de piroclastos, lavas recientes del período Cuaternario y lavas antiguas del Terciario (MAGA, 1991).

Según Herrera (2016), los acuíferos volcánicos se pueden agrupar en tres zonas:

- Acuíferos de la zona central: Ciudad Guatemala, Chimaltenango y Antigua.
- Acuíferos de la zona occidental: San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Santa Cruz del Quiché y Sololá.

- Acuíferos de la zona oriental: Cuilapa, Jalapa, Jutiapa e Ipala.

Acuíferos volcánicos de la zona central

Sobre estos acuíferos se asientan las poblaciones de la ciudad de Guatemala, Chimaltenango y Antigua Guatemala, como se presentan en el cuadro 1. En los valles de ciudad de Guatemala sur, Chimaltenango y Antigua Guatemala, se pueden separar los acuíferos en superior formado por piroclastos de pómez y en inferior constituido por lavas dacíticas, andesíticas y riolíticas.

El estudio del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), determinó que los depósitos piroclásticos de pómez, constituyen un medio poroso, con espesores saturados de 10 a 70 m en la ciudad de Guatemala (INSIVUMEH, 1978). En Chimaltenango los espesores saturados de piroclastos varían de 5 a 60 m y en Antigua Guatemala son de 50 a 120 m.

Cuadro 1. Características hidrogeológicas de los acuíferos de la zona central.

Acuífero	Geología (Medio)	Espesor saturado (m)	Transmisividad (m ² /d)	K (m/d)	Tipo de acuífero (S)	Caudal por pozo (L/s)	Nivel estático (m)
Sur de la ciudad de Guatemala	Piroclastos (poroso)	10 – 70	50 – 750	1 – 20	Superior: libre (0.09 – 0.35)	6 – 20	10 – 140
	Dacitas (fisurado)	+ 300	500 – 9,500	2 – 32	Inferior: semiconfinado (1x10 ⁻² – 8x10 ⁻³)	130– 230	8 – 110
Noreste de la ciudad de Guatemala	Tobas (fisurado)	+ 200	70 – 1,200	0.5– 10	Semiconfinado (2x10 ⁻² – 9x10 ⁻²)	5 – 40	8 – 250
Chimaltenango	Piroclastos (poroso)	5 – 60	100 – 800	3 – 25	Superior: libre (0.1 – 0.25)	4 – 20	45 – 85
	Lavas (fisurado)	+ 250	1,000 – 6,000	16 – 28	Inferior: semiconfinado (1.4x10 ⁻² –2x10 ⁻²)	5 – 27	25 – 120
Antigua Guatemala	Aluviones y piroclastos (poroso)	5 – 120	50 – 300	1 – 4	Superior: libre (0.1 – 0.27)	3 – 20	10 – 40
	Lavas y lapilli (fisurado y poroso)	+ 250	1,600 – 9,000	6 – 85	Inferior: semiconfinado (1x10 ⁻² – 3x10 ⁻³)	10 – 120	1.5 – 44

K = Conductividad hidráulica S = Coeficiente de almacenamiento

Los acuíferos superiores de piroclastos presentan transmisividades bajas a medias y definen permeabilidades medias. Los acuíferos son libres con valores de coeficientes de almacenamiento de 0.09 a 0.35. Las producciones son pequeñas a moderadas y los niveles freáticos se encuentran entre 10 a 140 m bajo la superficie del terreno.

Los acuíferos inferiores están formados por lavas fisuradas, con espesores saturados mayores de 200 m. La transmisividad es generalmente alta, con valores mayores de 1,000 m²/d, aunque es media en las partes altas de los acuíferos de la ciudad de Guatemala. Las permeabilidades varían de 0.5 a 36 m/d, clasificándose como medias y los acuíferos son semiconfinados a confinados con niveles piezométricos variables, entre 1.5 a 250 m de profundidad. Las producciones de los pozos, también son variables desde muy pequeñas a enormes, con rangos de 5 a 230 L/s.

Acuíferos volcánicos de la zona occidental

En Sololá, Santa Cruz del Quiché y Totonicapán, los acuíferos se presentan en medios fisurados de tobas y lavas, con espesores de 40 a 240 m. La transmisividad es baja a media, así como la permeabilidad. Los acuíferos son semiconfinados, con producciones pequeñas a grandes y niveles de 8 a 250 m (cuadro 2).

Cuadro 2. Características hidrogeológicas de los acuíferos de la zona occidental.

Acuífero	Geología (Medio)	Espesor saturado (m)	Transmisividad (m ² /d)	K (m/d)	Tipo de acuífero (S)	Caudal por pozo (L/s)	Nivel estático (m)
Sololá	Tobas (fisurado)	40 – 225	30 – 400	0.2 – 2.5	Semiconfinado (1x10 ⁻² – 5x10 ⁻²)	10 – 25	18 – 132
Santa Cruz del Quiché	Tobas (fisurado)	100 – 240	100 – 850	0.5 – 10	Semiconfinado (2x10 ⁻² – 6x10 ⁻²)	10 – 35	40 – 150
Totonicapán	Lavas (fisurado)	+ 200	70 – 1,200	0.5 – 10	Semiconfinado (2x10 ⁻² – 6x10 ⁻⁴)	5 – 40	8 – 250
Quetzaltenango	Piroclastos (poroso)	6 – 91	100 – 300	1 – 3	Superior: libre (0.1 – 0.3)	10 – 280	7 – 98
	Lavas (fisurado)	150 – 300	150 – 1,200	1 – 10	Inferior: confinado (3x10 ⁻³ –4.6x10 ⁻⁴)	8 – 65	50 – 120
San Marcos	Piroclastos (poroso)	8 – 30	10 – 50	0.5 – 3	Superior: libre (0.08 – 0.12)	1 – 10	4 – 14
	Lavas (fisurado)	+ 300	15 – 650	1 – 6	Inferior: confinado (3x10 ⁻² – 9x10 ⁻⁴)	6 – 31	30 – 150

K = Conductividad hidráulica S = Coeficiente de almacenamiento

En Quetzaltenango y San Marcos se pueden separar dos acuíferos. El acuífero superior de piroclastos en el valle de Quetzaltenango es de 6 a 91 m de espesor (INSIVUMEH, 1988). Mientras que en San Marcos es de 8 a 30 m. La transmisividad es baja a media y definen permeabilidades bajas a medias. Los acuíferos son libres con valores de coeficientes de almacenamiento de 0.08 a 0.3. Los caudales varían de 1 a 280 L/s y los niveles freáticos entre 4 a 98 m. Las lavas fisuradas constituyen los acuíferos inferiores confinados, con espesores mayores de 300 m, transmisividad baja a alta, permeabilidad media, con producciones moderadas a muy grandes y niveles de 30 a 250 m.

Acuíferos volcánicos de la zona oriental

Estos acuíferos se presentan en lavas y tobas, constituyendo medios fisurados. Los espesores son mayores de 300 m, con transmisividad y permeabilidad baja a media y con confinamiento. Las producciones son pequeñas a moderadas y los niveles variables entre 14 a 154 m (cuadro 3).

Cuadro 3. Características hidrogeológicas de los acuíferos de la zona oriental.

Acuífero	Geología (Medio)	Espesor saturado (m)	Transmisividad (m ² /d)	K (m/d)	Tipo de acuífero (S)	Caudal por pozo (L/s)	Nivel estático (m)
Cuilapa	Lavas (fisurado)	+ 300	110 – 830	0.5 – 5	Confinado (3x10 ⁻³ – 5x10 ⁻⁴)	11 – 26	25 – 154
Jalapa	Lavas (fisurado)	+ 250	16 – 350	1 – 6	Confinado (1.3x10 ⁻⁴ – 3.8x10 ⁻⁴)	6 – 41	14 – 110
Jutiapa	Tobas (fisurado)	40 – 160	50 – 450	0.4 – 12	Semiconfinado (2x10 ⁻² – 4x10 ⁻²)	4 – 20	17 – 120
Ipala	Lavas (fisurado)	200 – 250	55 – 650	0.3 – 8	Confinado (3x10 ⁻² – 4x10 ⁻⁴)	4 – 24	27 – 56

K = Conductividad hidráulica S = Coeficiente de almacenamiento

Acuíferos sedimentarios

Acuíferos costeros y aluvionales

Estos representan el 13.5 % de superficie del país. Los acuíferos costeros se presentan principalmente en la región que se extiende por toda la costa del Océano Pacífico, a lo largo de una longitud de 260 km y un ancho de entre 10 y 60 km, con una elevación máxima en la parte más ancha de aproximadamente 300 msnm, con una superficie de 7,500 km². En la costa atlántica es importante el acuífero de Puerto Barrios en Izabal (cuadro 4).

Los acuíferos costeros están formados por abanicos fluviales y aluviones, con materiales de varios tamaños como roca fracturada, grava y arena de cuarzo, que constituyen acuíferos con porosidad primaria y con espesores de 50 a 200 m (Salguero, 2002). La transmisividad es media a alta, así como, la permeabilidad que generalmente es media. Las producciones son

pequeñas a muy grandes y los niveles freáticos varían de 1 a 32 m. Estos acuíferos son los que reciben las mayores recargas hídricas anuales, con precipitaciones pluviales de 1,500 a 3,500 mm/año. La parte costera oriental de Guatemala, es más angosta y con menor recarga hídrica, presentándose precipitaciones medias anuales de 1,200 a 1,500 mm.

Cuadro 4. Características hidrogeológicas de los acuíferos costeros y aluvionales.

Acuífero	Geología (Medio)	Espesor saturado (m)	Transmisividad (m ² /d)	K (m/d)	Tipo de acuífero (S)	Caudal por pozo (L/s)	Nivel estático (m)
Ríos Achiguate y Acomé (Escuintla)	Abanicos fluviales y aluviones (poroso)	50 – 200	200 – 2,700	1.6 – 22	Libre (0.09 – 0.35)	3 – 100	1 – 26
Tiquisate	Abanicos fluviales y aluviones (poroso)	50 – 150	250 – 2,500	1.3 – 13	Libre (0.1 – 0.28)	5 – 20	1 – 32
Mazatenango – La Máquina	Aluviones y lahares (poroso)	10 – 50	15 – 360	4 – 24	Superior: libre (0.1 – 0.25)	1 – 5	1 – 10
	Brechas volcánicas (fisurado)	100 – 200	1,000 – 4,500	7 – 30	Inferior: semiconfinado (2x10 ⁻² – 9x10 ⁻²)	5 – 20	5 – 40
Retalhuelu	Aluviones y lahares (poroso)	30 – 50	10 – 400	0.3 – 10	Superior: libre (0.1 – 0.22)	1 – 5	5 – 10
	Lavas (fisurado)	100 – 200	1,100 – 4,000	1 – 3.5	Inferior: confinado (8x10 ⁻³)	3 – 20	4 – 10
La Blanca – Ocos, San Marcos	Aluviones (poroso)	50 – 100	400 – 1,100	4 – 10	Libre (0.2 – 0.28)	10 – 130	2 – 10
Río María Linda (Escuintla)	Abanicos fluviales y aluviones (poroso)	50 – 100	500 – 2,500	9 – 45	Libre (0.09 – 0.35)	10 – 150	1 – 30
Río Los Esclavos (Santa Rosa)	Aluviones (poroso)	10 – 60	150 – 700	4 – 20	Libre (0.1 – 0.22)	1 – 10	1 – 5
Río Paz (Jutiapa)	Aluviones (poroso)	8 – 50	100 – 600	3 – 20	Libre (0.08 – 0.24)	1 – 10	1 – 8
Puerto Barrios	Aluviones (poroso)	10 – 60	10 – 100	0.3 – 3	Libre (0.05 – 0.24)	1 – 8	1 – 26
Aluvional Valle del río Motagua	Aluviones (poroso)	20 – 150	300 – 1,000	3 – 12	Libre (0.12 – 0.32)	1 – 12	1 – 25
Aluvional Valle del río Polochic	Aluviones (poroso)	30 – 200	150 – 400	1 – 4	Libre (0.05 – 0.22)	1 – 10	4 – 12

K = Conductividad hidráulica S = Coeficiente de almacenamiento

Los sistemas de Mazatenango, La Máquina y Retalhuleu, se presentan dos tipos de acuíferos: uno superior y otro inferior. Los acuíferos superiores son libres, formados por aluviones y lahares en la base, que funcionan como acuitardos y acuícludos. Los espesores varían de 10 a 50 m, presentando transmisividad baja a moderada, así como, la permeabilidad. Los acuíferos inferiores están formados por lavas y brechas, presentando confinamiento por las capas arcillosas de lahares y espesores de 100 a 200 m. La transmisividad es alta y la permeabilidad es media.

El acuífero de Puerto Barrios es libre y esta conformado por aluviones con espesor de 10 a 60 m (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, 2000). La transmisividad es baja y la permeabilidad es baja a media. Los acuíferos aluvionales de los ríos Motagua y Polochic, son libres y presentan espesores de 20 a 200 m. Las transmisividades en el Motagua son de 300 a 1,000 m²/d y de 150 a 400 m²/d en el Polochic. La permeabilidad es media de 1 a 12 m/d, los caudales de producción varían de 1 a 12 L/s y los niveles estáticos están de 1 a 25 m bajo la superficie del terreno.

Acuíferos en areniscas y conglomerados

Estos acuíferos se presentan en las cuencas sedimentarias del Petén, Alta Verapaz, Quiché e Izabal (cuadro 5), a una altitud entre 300 y 600 msnm, formados por rocas sedimentarias de areniscas y conglomerados de origen marino del Cretácico hasta el Terciario. Representan el 26 % del área total de país, siendo la precipitación pluvial anual de 2,000 a 3,000 mm.

Cuadro 5. Características hidrogeológicas de acuíferos en areniscas y conglomerados

Acuífero	Geología (Medio)	Espesor saturado (m)	Transmisividad (m ² /d)	K (m/d)	Tipo de acuífero (S)	Caudal por pozo (L/s)	Nivel estático (m)
Santo Tomás, Izabal	Conglomerados y areniscas (poroso)	50 – 150	10 – 100	0.1 – 1	Confinado (1x10 ⁻³ – 3x10 ⁻⁴)	2 – 6	5 – 30
San Luis, Petén	Areniscas (poroso)	70 – 150	18 – 200	0.2 – 2	Confinado (2x10 ⁻³ – 6x10 ⁻⁴)	3 – 9	9 – 48
Río San Román, Petén	Areniscas (poroso)	80 – 200	10 – 150	0.1 – 1	Confinado (1x10 ⁻³ – 8x10 ⁻³)	1 – 5	5 – 10
Ixcán, Playa Grande, Quiché	Aluviones (poroso)	4 – 10	8 – 20	1 – 3	Superior: libre (0.01 – 0.18)	1 – 3	1.5 – 5
	Areniscas (poroso)	50 – 150	10 – 100	0.1 – 1	Inferior: confinado (8x10 ⁻³ – 2x10 ⁻⁴)	1 – 6	14 – 20

K = Conductividad hidráulica S = Coeficiente de almacenamiento

En el Puerto Santo Tomás de Castilla en la Bahía de Amatique en Izabal, el acuífero es de medio poroso constituido de conglomerados y areniscas sobreyacido por capas de arcilla que le da confinamiento (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, 2000). El espesor es de 50 a 150 m, con transmisividad baja, así como, la permeabilidad. La producción es pequeña y los niveles piezométricos varían de 5 a 30 m.

Las áreas más importantes para el desarrollo de aguas subterráneas en areniscas, son las de San Luis y Río San Román en Petén, así como, Playa Grande en Ixcán, Quiché. Los acuíferos desarrollados en medio poroso de areniscas, presentan espesores de 70 a 200 m, con transmisividad y permeabilidad baja. Los acuíferos están cubiertos y confinados por estratos de arcillas, por lo que presentan niveles piezométricos de 5 a 48 metros. Las producciones son pequeñas.

En Ixcán Playa Grande, se presentan dos acuíferos, uno somero y libre con espesor de 4 a 10 m, constituido por aluviones y otro inferior confinado con espesores saturados de 50 a 150 m. La transmisividad es baja a media y la

permeabilidad es media. La producción es muy pequeña y los niveles de 1.5 a 20 m.

Acuíferos carbonatados

Estos acuíferos representan el 30 % de la superficie del país y ocupan principalmente la parte norte de Guatemala, en la plataforma carbonatada, constituida por calizas y dolomías, que en algunas áreas presentan carstificación originando una topografía cárstica con cuevas subterráneas. Las características se presentan el cuadro 6.

Cuadro 6. Características hidrogeológicas de los acuíferos carbonatados.

Acuífero	Geología (Medio)	Espesor saturado (m)	Transmisividad (m ² /d)	K (m/d)	Tipo de acuífero (S)	Caudal por pozo (L/s)	Nivel estático (m)
Ciudad Guatemala norte	Calizas (fisurado)	50 – 300	10 – 3,100	0.1– 18	Confinado (1x10 ⁻³ – 8x10 ⁻³)	14 – 60	60 – 220
Cobán, Alta Verapaz	Calizas (fisurado)	100 – 500	10 – 4,500	0.02– 15	Confinado (8x10 ⁻² – 2x10 ⁻⁴)	3 – 50	30 – 180
Fray Bartolomé Las Casas, Alta Verapaz	Calizas (fisurado)	100 – 200	130 – 600	1 – 4	Libre (0.1 – 0.25)	1 – 8	6 – 12
Poptún, Petén	Calizas (fisurado)	100 – 500	15 – 250	0.05 – 1	Libre (0.05 – 0.28)	5 – 10	50 – 70
Sayaxché, Petén	Calizas (fisurado)	100 – 500	14 – 300	0.05 – 1	Confinado (2x10 ⁻³ – 5x10 ⁻⁴)	5 – 20	20 – 35

K = Conductividad hidráulica S = Coeficiente de almacenamiento

Los acuíferos carbonatados más conocidos en el país, son el de ciudad Guatemala norte y el de Cobán en Alta Verapaz. Los espesores varían de 50 a 500 m, con transmisividades variables de 10 a 4,500 m²/d y permeabilidades bajas y medias. Los acuíferos son confinados, con producciones pequeñas a muy grandes y niveles piezométricos de 30 a 220 m bajo la superficie del terreno (Galicia, 1997).

En Fray Bartolomé de Las Casas (Alta Verapaz), Poptún, Sayaxché y Flores en Petén, los acuíferos presentan espesores de 80 a 500 m (INSIVUMEH, 1985). La transmisividad es baja a media, así como, la permeabilidad. Los acuíferos son libres, a excepción del acuífero Sayaxché que esta cubierto por arcillas que funcionan como capas sello. Las producciones son muy pequeñas a grandes y los niveles freáticos varían de 6 a 80 m de profundidad.

Esta región tiene precipitaciones pluviales entre 1,200 y 4,000 mm anuales y constituye acuíferos de buena potencialidad, sin embargo, presenta condiciones muy variables de permeabilidad por facturación y circulación de agua subterránea.

La porosidad primaria de caliza y dolomía es variable, y la permeabilidad secundaria en acuíferos carbonatados, se debe a la disolución de planos de estratificación, fracturas y fallas, por esto son altamente anisotrópicos y heterogéneos. En algunas áreas donde se ha desarrollado la topografía cárstica existen “ríos subterráneos”, es decir, ríos superficiales que desaparecen y fluyen a través de cavernas, constituyendo un flujo subterráneo de canales abiertos.

En los acuíferos carbonatados se han reportado valores muy variables de transmisividad, de 10 a 80 m²/día en rocas poco fracturadas, de 250 a 500 m²/día en calizas moderadamente fracturadas y de 1,000 a 5,000 m²/día en calizas muy fracturadas (Galicía, 1997).

Acuífugos

Se presentan en la región del cinturón metamórfico de Guatemala, con longitud de más de 350 kilómetros, comprendiendo varias sierras o cadenas

montañosas como: Chuacús, Las Minas, Merendón y Santa Cruz. Esta región representa el 10.5 % del área total del país.

Los acuífugos son formaciones geológicas que no contienen agua, ni la pueden transmitir, ya que están compuestos por rocas ígneas intrusivas como granito y rocas metamórficas como filita, esquistos, gneis y serpentinita, que son prácticamente impermeables. Aunque se pueden desarrollar condiciones locales de acumulación de aguas subterráneas por la fracturación y alteración superficial de las rocas, tienen una modesta circulación, con cantidades escasas o magras de agua, donde los caudales son menores de 3 L/s.

Intrusión salina

La intrusión salina es el movimiento permanente o temporal del agua salada a través del acuífero, desplazando al agua dulce. Esta se localiza tanto en las costas del Océano Pacífico, como en el área de Puerto Barrios en el Mar Caribe.

Generalmente se forma una cuña de agua salada proveniente de la porción del mar o el océano, así como, una zona de mezcla de agua salada y agua dulce. Por lo que, los pozos cercanos a la línea de costa pueden captar agua salobre, salinizando el área próxima a su zona de bombeo.

La salinización en acuíferos multicapas, también puede ser debida por la infiltración de agua de otros acuíferos salinizados, bien por goteo o bien por deficiencias en el pozo. En cualquier caso, el agua resultante tendrá una salinidad muy alta e inadecuada para la mayoría de usos potenciales.

CONCLUSIONES

La región volcánica representa el 20% del territorio de Guatemala y tiene el 36 % de la población total del país. Los acuíferos volcánicos mayores del país, se presentan en Quetzaltenango, Sololá y sur de ciudad Guatemala, por constituir antiguas calderas volcánicas.

Los valles de la región volcánica están rellenos con materiales piroclásticos de pómez, que generalmente forman los acuíferos superiores libres, con porosidad primaria y niveles de agua subterránea poco profundos. Los paleosuelos y las capas de ceniza volcánica fina, son comunes en secuencias volcánicas y son horizontes importantes con muy baja permeabilidad que constituyen acuicludos y acuitardos, que le dan confinamiento a los acuíferos inferiores.

En Guatemala los acuíferos aluvionales se localizan principalmente en la costa del Océano Pacífico. Los pozos más productivos se localizan en valles amplios, donde existen aluviones compuestos por gravas y arenas, que presentar valores de permeabilidad altos. Estos materiales presentan una serie de ventajas, como que son fácilmente excavados a mano, lo que hace que su exploración resulte rápida y barata. Sin embargo, en la mayoría de los casos los niveles freáticos son superficiales, lo que produce que estos acuíferos sean vulnerables a la contaminación por actividades urbanas como la descarga de aguas servidas, agrícolas e industriales.

Los acuíferos formados de areniscas y conglomerados se localizan en Petén, Alta Verapaz, Quiché e Izabal. Estos son más limitados en su productividad, ya que los caudales de extracción por pozo son pequeños de 1 a 6 L/s. Esto se debe a que existe mucha cantidad de materiales finos como arcillas y limos, que disminuye la permeabilidad de los acuíferos, aunque el espesor sea grande.

Los acuíferos en rocas carbonatadas están formados por calizas y dolomías, que se localizan principalmente la parte norte del país, que constituye acuíferos de buena potencialidad, sin embargo, presenta condiciones muy variables de permeabilidad por facturación y circulación de agua subterránea.

Comparando las reservas de agua de cada acuífero contra la extracción actual, se calcula que la mayoría de los acuíferos volcánicos llena los requerimientos de agua potable de cada ciudad, es decir, no existe sobre-extracción de los acuíferos, a excepción del acuífero sur de la ciudad de Guatemala. Este acuífero se encuentra sobre utilizado significativamente, lo que se comprueba con el descenso de niveles estáticos de pozos de varias decenas de metros en más de cuarenta años de explotación.

Los acuífugos se presentan en las sierras o cadenas montañosas de Chuacús, Las Minas, Merendón y Santa Cruz. Estas formaciones geológicas están compuestas por rocas ígneas intrusivas y rocas metamórficas, que son prácticamente impermeables. En algunas áreas se pueden desarrollar condiciones locales de acumulación de aguas subterráneas por la fracturación y alteración superficial de las rocas, con una modesta circulación y con cantidades escasas o magras de agua, donde los caudales son menores de 3 L/s.

LITERATURA CITADA

1. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. Evaluación de recursos de agua de Guatemala. Guatemala. 2000. 60 p.
2. Custodio, E., & Llamas, R. Hidrología subterránea. Tomo I, 2. ed. Barcelona, Omega Ediciones. 2001. 2,350 p.
3. Escuder, R.; Fraile, J.; Jordana, S.; Ribera, F.; Sánchez-Vila, X. & Vázquez-Suñé, E. Hidrogeología, conceptos básicos de hidrología subterránea. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS). Barcelona, España. 2009. 768 p.
4. Galicia, O. Estudio hidrogeológico preliminar de las calizas zona norte, Ciudad Guatemala. (Tesis de licenciatura). Centro Universitario del Norte, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 1997. 87 p.
5. Herrera, I. R. Estrategia para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo en la subcuenca de los ríos Pansigüis y Cushapa en el departamento de Jalapa, Guatemala. Tesis de Doctorado en Ciencias Técnicas Agropecuarias. Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciego de Ávila. Cuba. 2011. 117 p.
6. Herrera, I. R. Vulnerabilidad del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala. *Tikalia*. 33(2): 39-55, 2015.
7. Herrera, I. R. Estudio hidrogeológico de los acuíferos volcánicos de la República de Guatemala. Informe Final proyecto DIGI - FAUSAC. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2016. 120 p.
8. Herrera, I.R. & Orozco, E.O. Hidrogeología de Ojo de Agua, cuenca sur de la Ciudad de Guatemala. *Rev. Geol. America Central.*, 42: 85-98, 2010.
9. Herrera, I.R. & Brown, O. Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 48-52. 2011.
10. Herrera, I., Orozco, O., & Mujica, A. Estrategia para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo en una zona semiárida de Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3), 12-18. 2011.
11. Instituto Geográfico Nacional. Mapa geológico de Guatemala (escala 1:500,000). Guatemala. 1970.
12. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Estudio de las aguas subterráneas en el valle de la ciudad de Guatemala. 1978. 305 p.
13. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del Lago Petén Itzá. 1985. 35 p.
14. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Estudio de aguas subterráneas en el valle de Quetzaltenango. 1988. 280 p.
15. Kruseman, G. & De Ridder, N. Analysis and evaluation of dumping test data. Second edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement. The Netherlands. 1994. 377 p.
16. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Hidrogeología, disponibilidad de agua subterránea. Guatemala. 1991. 72 p.
17. Salguero, M. Estudio hidrogeológico con fines de riego de la cuenca del río Acomé, Escuintla, Guatemala (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. 2002. 107 p.



**REGISTRO PRELIMINAR DE LA
BIODIVERSIDAD DE MACROINSECTOS
PRESENTES EN EL AGROECOSISTEMA
CAFÉ (*COFFEA ARABICA*), BAJO
CONDICIONES DE LA FINCA SABANA
GRANDE, ALDEA EL RODEO, ESCUINTLA,
GUATEMALA.**

Autor:

Carlos Humberto González Vásquez¹

Recibido el 17 de agosto de 2017.

Aprobado el 23 de septiembre de 2017.

¹Ing. Agr. Profesor de la FAUSAC.

RESUMEN

La diversidad biológica o biodiversidad se refiere a la variedad de formas de vida en los diferentes ecosistemas, los complejos ecológicos y la diversidad entre especies (Monge-Nájera y colaboradores 1998, Perfil Ambiental de Guatemala, 2004). Las diferentes plantas, animales y microorganismos, así como los genes que contienen y los ecosistemas que forman son parte de la biodiversidad. Parte de lo necesario para preservar y aprovechar la biodiversidad es medirla a través de inventarios o registros, para conocer los nombres de las diferentes especies de un determinado lugar, área, ecosistema o agroecosistema. La razón principal de realizar este estudio fue de el de aportar otro registro de biodiversidad de insectos para la ecoregión de los bosques húmedos de la Sierra Madre de Chiapas que incluye la zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical (cálido) (bmh-S(c)) según René de la Cruz (1982) basado en el sistema desarrollado por el Dr. Holdrige y que represente un material de consulta para estudiantes, técnicos y especialistas a través de la colección de referencia de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El presente estudio se enfocó en el conocimiento de la biodiversidad que presenta el agroecosistema café, el cual se encuentra establecido en la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla. Además realizar un registro preliminar de macroinsectos presentes en dicho agroecosistema, el cual tiene como fin establecer una base técnica para estudios posteriores relacionados a la misma biodiversidad, su biología, su función en el agroecosistema y su relación con la naturaleza para que podamos disfrutar de sus beneficios a través de sus productos y riqueza biológica; también poder conocer el efecto del hombre a través del tiempo sobre las diferentes especies que se identificaron.

Durante los siete meses de colecta realizados (julio, agosto y septiembre 2013 y enero, febrero, marzo y abril 2014) se capturó un total de 1,634 insectos, distribuidos en 14 órdenes y 80 familias. La riqueza entomológica medida a través de la cantidad de familias de insectos registrados en la finca Sabana Grande correspondiente a los diferentes órdenes de insectos de mayor representatividad colectados durante el tiempo de estudio fueron: Lepidóptera el orden más abundante en cuanto a número de individuos que representa un 40% del total de capturas efectuadas con 654 individuos distribuidos en 14 familias; seguido del orden Orthóptera con 20% con 322 individuos distribuidos en cuatro familias; luego se presentó Coleóptera con 14% con 233 individuos distribuidos en 14 familias; después Hymenóptera con 14% con 231 individuos distribuidos en 14 familias; los cuales fueron los órdenes de insectos con mayor representatividad durante el tiempo de estudio.

Referente a la cantidad de individuos y sus diferentes grupos taxonómicos analizados (familias) se estableció un índice de Shannon-Wiener (H') de 2.875 que señala que el agroecosistema café de la finca Sabana Grande, Escuintla, es medianamente diverso, razón por la cual debe de establecerse como una parcela permanente de monitoreo entomológico ya que se considera un ecosistema o comunidad resistente por la multiplicidad de grupos taxonómicos (familias) presentes con funciones ecológicas específicas que hay que estudiar a detalle y también conocer el efecto del hombre a través del tiempo sobre las especies que en él habitan.

Palabras clave: Biodiversidad, insectos, café.

ABSTRACT

Biological diversity or biodiversity makes reference to the variety of life forms in different ecosystems, ecological complexes and species diversity (Monge-Nájera and collaborators 1998, Perfil Ambiental de Guatemala, 2004). The different plants, animals and microorganisms, as well as the genes that they contain and the ecosystems they form, are part of the biodiversity. Part of what is necessary to preserve and take advantage of biodiversity is to mediate it through inventories or records, in order to know the names of the different species of a specific place, area, ecosystem or agroecosystem and one of the reasons to execute this study was to provide another register of insect biodiversity for the ecoregion of the humid forests of the Sierra Madre de Chiapas, which includes in the living area subtropical (warm) (bmh-S (c)) according to René de la Cruz (1982) based on the the system developed by Dr. Holdrige, and that represents a reference material for students, technicians and specialists through the reference collection of the Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. This study focused on the knowledge of the biodiversity presented by the coffee agroecosystem which is located in the Sabana Grande estate, El Rodeo Escuintla. In addition, realizing a preliminary register of macroinsects present in the agroecosystem, whose purpose is to establish a technical support for further studies related to the same biodiversity, its biology, its role in the agroecosystem and its relation with nature so that we can enjoy its benefits through its products and biological richness; also be able to know the effect of man over time on the different species that were identified.

During the seven months of collection (july, august and september 2013 and january, february, march and april 2014) was reached a total of 1,634 insects, distributed in 14 orders and 80 families. The entomomological

richness measured by the number of insect families recorded in the Sabana Grande estate corresponding to the different orders of insects of greater representativity collected during the study period were: Lepidoptera the most abundant order in terms of the number of individuals it represents 40% of the total catches made with 654 individuals distributed in 14 families; followed by the order Orthoptera with 20% with 322 individuals distributed in four families; Coleoptera was then presented with 14% of the 233 individuals distributed in 14 families; after Hymenoptera with 14% with 231 individuals distributed in 14 families; which were the orders of insects with greater representativeness during the time of study.

A Shannon-Wiener index (H') of 2,875 was established regarding the number of individuals and their different taxonomic groups analyzed (families), which indicates that the coffee agroecosystem of the Sabana Grande, Escuintla estate is moderately diverse, which is why it must be established as a permanent plot of entomological monitoring since it is considered an ecosystem or community resistant by the multiplicity of taxonomic groups (families) that are present with specific ecological functions that must be studied in detail and also know the effect of man over time on the species that inhabit it.

INTRODUCCIÓN

El hombre se considera dependiente de la biodiversidad porque recibe beneficios a través de su existencia tales como: producción de oxígeno, disponibilidad de agua, capacidad productiva de los suelos (medicinas, alimentos, combustibles, materiales de construcción) y ecoturismo. Los insectos que son parte de la biodiversidad y realizan diferentes roles como la polinización de la flora nativa y cultivos de cualquier región tropical, su uso como agentes de control biológico de plagas (depredadores y parasitoides), bioindicadores de ecosistemas y aguas; alimento de otros animales, ciclaje de nutrientes e investigación científica.

Uno de los problemas ambientales que se presenta en la actualidad para Guatemala es la pérdida de biodiversidad a nivel general y de los insectos a través del cambio de uso del suelo y la deforestación, que traen como consecuencia la pérdida del hábitat de ciertas especies que habitan en los bosques de los diferentes ecosistemas de nuestro país el cual hasta la fecha es considerado como mega diverso, esto aunado a los efectos del cambio climático que de cierta manera favorecen a la extinción de especies, las cuales muchas veces ni siquiera llegamos a conocer por falta de registros sobre el número y localización de especies, así como la falta de colecciones de referencia de ecosistemas o agroecosistemas de nuestro país y falta de índices que expliquen el grado de riqueza de la diversidad entomológica. Otro factor que influye en dicha pérdida es el establecimiento de diferentes monocultivos que el día de hoy está de moda su establecimiento en nuestro país. Entonces, ante dicha pérdida, es necesario registrar y conocer la biodiversidad insectil que posee Guatemala en sus diferentes ecoregiones o zonas de vida y así poder conocer el total de la fauna insectil a largo plazo que se posee y que se puede perder en un determinado momento por otros factores como los

incendios forestales, migración de especies, construcción de caminos, crecimiento urbano y la extensión de la ganadería, por mencionar algunos.

La hipótesis planteada fue que el agroecosistema café presentará una diversidad entomológica baja calculada a través del índice de Shannon-Wiener = H' debido a las diferentes perturbaciones provocadas por las actividades del hombre.

El objetivo de este estudio hace referencia a realizar un registro preliminar de la biodiversidad insectil presente en el agroecosistema café para las condiciones de la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, además conocer la riqueza entomológica que presenta a través del estudio de varios índices de biodiversidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Manga entomológica, trampa de luz y trampas Van Someren-rydon, cámara letal, cajas plásticas de petri, pinzas, refrigerador, alcohol etílico al 70%, viales de diferentes tamaños, alfileres entomológicos, cajas entomológicas, gradillas de madera, naftalina, microscopio estereoscópico, claves taxonómicas e insectos.

Localización espacial del sitio de investigación

Condiciones y ubicación de la finca Sabana Grande

La finca Sabana Grande se encuentra localizada en la aldea El Rodeo que pertenece al municipio de Guanagazapa del departamento de Escuintla, se accesa por carretera asfaltada a 59 km de la ciudad capital a través de la ruta Centroamericana CA-2 y desviándose por la ruta nacional 14 hacia Antigua Guatemala. La finca se encuentra localizada dentro de las coordenadas 14°10' 59.88" latitud norte y 90°37' 59.88" longitud oeste <https://fausacomercializacion.wordpress.com/finca-sabana-grande/>.

Estrategia metodológica de captura de insectos

A nivel de gabinete se establecieron dos transectos de muestreo a recorrer cada uno de 1000 metros de distancia dentro del agroecosistema de café que posee la finca. Además se identificó el lugar de colocación de la trampa de luz y las trampas Van Someren-rydon o también llamada trampa de dosel (Fotos 1 y 2). En los transectos se realizaron dos recorridos durante cada muestreo mensual, uno por la tarde del primer día y uno por la

mañana del día siguiente en los cuales se capturaron insectos voladores con manga entomológica y se registraron mariposas observadas, a la vez se revisaron troncos podridos y se capturaron otros insectos presentes en las plantas café y el estrato de hierba. También se colocaron 2 trampas Van Smeren-rydon, una por cada transecto durante el transcurso de la tarde del primer día para revisarlas al día siguiente por la mañana, usando banano fermentado como cebo para atraer mariposas. Para la captura de insectos nocturnos se utilizó la trampa de luz, que consiste en una pantalla de tela de 3.36 m² (2.10m x 1.60 m) suspendida por cuerdas entre árboles y 4 lámparas de 110 voltios de baterías recargables de luz blanca (20 LEDS), dos en cada lado de la pantalla con el fin de proyectar la luz en ambos lados. El periodo de captura se realizó entre las 19:00 y 21:00 horas (Guevara, F., 2014).



Foto 1. Trampa de luz.



Foto 2. Trampa Van Someren-rydon.

Clasificación y preservación de insectos capturados

Los insectos capturados fueron clasificados en el laboratorio de entomología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de claves dicotómicas a nivel de familia, utilizando las fuentes bibliográficas como Triplehorn, C.A et al., 2005. Hymenóptera de la región neotropical y las series de libros del INBio de Costa Rica (Coleóptera, Hymenóptera y Díptera) referente a los órdenes de Lepidóptera, Orthóptera,

Coleóptera e Hymenóptera. Para la identificación a nivel de especie correspondiente al orden Lepidóptera se utilizaron las fuentes: Mariposas de Costa Rica, Biodiversidad de Guatemala volumen 2, Mariposas nocturnas (Familias Arctiidae, Saturniidae y Sphingidae) de la reserva Refugio del Quetzal, Guatemala y Mariposas del Ecuador.

Análisis de la información

A. Población

Totalidad de los insectos capturados durante el tiempo de estudio en el sitio de muestreo seleccionado.

B. Muestra

Se refiera a las capturas mensuales realizadas y los grupos taxonómicos identificados durante el tiempo de estudio.

C. Datos

Son aquellos referidos a los insectos capturados e identificados que constituyen un registro (Guevara, F., 2014).

La técnica estadística y los instrumentos

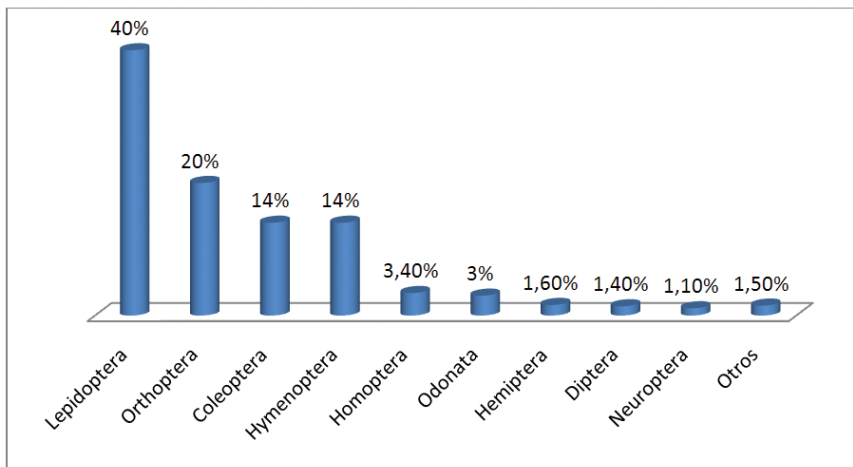
Para este estudio se utilizó como única variable el número de individuos capturados por grupo taxonómico obtenidos en todo el agroecosistema café. Se realizó una base de datos en hoja electrónica Excel y se estimó el índice de diversidad biológica total a través de diferentes parámetros, mencionándose el resultado del Índice de Shannon - Wiener (Krebs 1998) ya que es el más conocido en ecología para conocer la diversidad (Guevara, F., 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los siete meses de colecta realizados se capturó un total de 1,634 insectos, en su mayoría macroinsectos distribuidos en 14 órdenes y 80 familias. Siendo Lepidóptera el orden más abundante en cuanto a número de individuos que representa un 40% del total de capturas efectuadas con 654 individuos distribuidos en 14 familias; seguido del orden Orthóptera con 20% con 322 individuos distribuidos en cuatro familias; luego se presentó Coleóptera con 14% con 233 individuos distribuidos en 14 familias; después Hymenóptera con 14% con 231 individuos distribuidos en 14 familias; los cuales fueron los órdenes de insectos con mayor representatividad durante el tiempo de estudio.

Un segundo grupo en importancia lo componen los órdenes: Homóptera con 3.40% de representatividad con 55 individuos distribuidos en tres familias; Odonata con 3% con 48 individuos distribuidos en 5 familias; Hemíptera con 1.6% con 26 individuos distribuidos en 10 familias; Díptera con 1.4% con 23 individuos distribuidos en 8 familias y Neuróptera con 1.10% con 18 individuos distribuidos en 2 familias. El resto de órdenes fueron Trichóptera, Blattodea, Mantodea, Ephemeroptera y Dermáptera con una representación de 1.5% con 24 individuos distribuidos en 4 familias (Gráfica 1, cuadros 1 y 2).

Gráfica 1. Distribución porcentual de órdenes de insectos capturados en la finca Sabana Grande, Escuintla 2014.



Las capturas efectuadas durante la época lluviosa que correspondieron a los meses de julio a septiembre de 2013 el total de individuos fue de 734 que representa a un 45%; mientras que para la época seca que correspondió a los meses de enero a abril de 2014 el total de individuos fue de 900 correspondiente al 55% de captura para esta estación (Cuadro 1).

El total de individuos capturados estuvo distribuido en 14 órdenes y 80 familias. Los órdenes con la mayor cantidad de familias fueron: Lepidóptera, Coleóptera e Hymenóptera con 14 familias cada uno; mientras que los órdenes con menor cantidad de familias fueron Dermáptera y Mantodea con una familia cada uno (Cuadro 2).

Cuadro 1. Capturas realizadas por mes correspondientes a un año calendario y grupo taxonómico. Finca Sabana Grande, Escuintla 2014.

Grupo taxonómico	Meses de muestreo, años 2013-2014							TOTAL	%
	Julio 2013	Agosto 2013	Sept 2013	Enero 2014	Febrero 2014	Marzo 2014	Abril 2014		
1. Blattodea	5	0	0	0	1	0	0	6	0.40
2. Coleóptera	5	10	0	8	90	59	61	233	14
3. Díptera	3	12	0	1	2	5	0	23	1.40
4. Dermáptera	0	0	0	0	0	0	1	1	0.06
5. Ephemeroptera	0	0	0	0	2	0	0	2	0.12
6. Hemíptera	7	0	0	0	12	2	5	26	1.60
7. Homóptera	3	0	0	0	0	50	2	55	3.40
8. Hymenoptera	4	0	0	4	36	185	2	231	14
9. Lepidóptera	153	137	76	86	88	19	95	654	40
10. Mantodea	1	0	1	1	2	0	0	5	0.30
11. Neuróptera	0	0	1	0	0	0	17	18	1.10
12. Odonata	0	21	3	13	4	1	6	48	3
13. Orthoptera	105	136	51	4	22	4	0	322	20
14. Trichóptera	0	0	0	0	0	10	0	10	0.6
TOTALES	286	316	132	117	259	335	189	1634	100

De acuerdo al interés en el estudio, el orden más representativo en cuanto a cantidad de macroinsectos fue Lepidóptera con un total de 654 individuos distribuidos en 14 familias de las cuales la más representativa y con mayor cantidad de individuos fue Nymphalidae con 481, seguida de las familias Pieridae y Noctuidae con 37 y 29 individuos respectivamente (cuadro 3).

Cuadro 2. Familias determinadas por orden de insectos. Finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla 2014.

No.	ORDEN	FAMILIAS	TOTAL
1	Blattodea	Blaberidae, Blattidae	2
2	Coleóptera	Cantharidae, Carabidae, Cerambycidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Elateridae, Erotilidae, Mordellidae, Passalidae, Platypodidae, Scarabaeidae, Scolytidae, Staphylinidae, Tenebrionidae	14
3	Díptera	Asilidae, Dolichopodidae, Empididae, Phoridae, Muscidae, Syrphidae, Tachinidae, Tipulidae	8
4	Dermáptera	Forficulidae	1
5	Ephemeroptera	Sd*	1
6	Hemíptera	Alydidae, Anthocoridae, Coreidae, Cydnidae, Lygaeidae, Miridae, Pentatomidae, Reduviidae, Scutelleridae, Veliidae	10
7	Homóptera	Cercopidae, Cicadidae, Cicadellidae.	3
8	Hymenoptera	Apidae, Braconidae, Chalcididae, Diprionidae, Formicidae, Halictidae, Ichneumonidae, Megachilidae, Mymaridae, Pompilidae, Pteromalidae, Scelionidae, Sphecidae, Vespidae	14
9	Lepidóptera	Apatelodidae, Geometridae, Hepialidae, Hesperidae, Lycaenidae, Noctuidae, Megalopygidae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Notodontidae, Riodinidae, Saturniidae, Sematuridae	14
10	Mantodea	Mantidae	1
11	Neuróptera	Ascalaphidae, Corydalidae	2
12	Odonata	Aeshnidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Gomphidae, Libellulidae	5
13	Orthoptera	Acrididae, Gryllidae, Romaelidae, Tettigoniidae	4
14	Trichóptera	Sd	1

*Sd= Familias sin determinar **Total 80**

Cuadro 3. Distribución de las capturas del orden Lepidóptera. Finca Sabana Grande, Escuintla, 2014.

Grupo taxonómico	Meses de muestreo, años 2013-2014							TOTAL NI
	Julio 2013	Agosto 2013	Sept. 2013	Enero 2014	Febrero 2014	Marzo 2014	Abril 2014	
1. Apatelodidae	0	0	0	0	0	0	13	13
2. Geometridae	0	0	0	8	10	1	0	19
3. Hepialidae	0	0	0	0	0	0	1	1
4. Hesperidae	4	0	0	1	1	0	3	9
5. Lycaenidae	1	0	0	0	1	0	0	2
6. Noctuidae	12	14	2	0	1	0	0	29
7. Megalopygidae	0	0	0	0	0	0	15	15
8. Nymphalidae	119	112	57	70	61	13	49	481
9. Papilionidae	9	3	12	0	0	3	0	27
10. Pieridae	6	7	0	7	11	2	4	37
11. Notodontidae	0	0	0	0	3	0	0	3
12. Riodinidae	1	0	0	0	0	0	0	1
13. Saturniidae	0	1	2	0	0	0	10	13
14. Sematuridae	1	0	0	0	0	0	0	1
15. Sd	0	0	3	0	0	0	0	3
TOTALES	153	137	76	86	88	19	95	654

Por la importancia e interés que representó el orden Lepidóptera en el estudio de macroinsectos, se determinaron 60 especies distribuidas en las 10 familias: Geometridae, Hesperidae, Lycaenidae, Noctuidae, Megalopygidae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Saturniidae y Sematuridae, siendo Nymphalidae la familia más representativa con más de la mitad de especies (37) en donde las que podemos tomar como bioindicadoras del agroecosistema café son *Anartia fatima fatima* que se presentó en todos los muestreos, *Drya siuila moderata*, *Euptoieta hegesia* y *Heliconius erato petiverana* que se presentaron en 5 muestreos realizados; seguida de las familias Pieridae y Papilionidae con 6 y 5 especies respectivamente (cuadro 4).

Cuadro 4. Especies determinadas del orden Lepidóptera, Finca Sabana Grande, Escuintla 2014.

No.	FAMILIA	ESPECIES	TOTAL
1	Geometridae	<i>Melanchroia cephise</i> (Stholl)	1
2	Hesperiidae	<i>Hyliphila pyleus</i> (Drury 1773), <i>Urbanus teleus</i>	2
3	Lycaenidae	<i>Keko amarius</i>	1
4	Noctuidae	<i>Ascalapha odorata</i> L., <i>Procolax pohalana</i> Schaus, <i>Pronerice disjunta</i> Dagnin	3
5	Megalopygidae	<i>Podalia orsilocha</i>	1
6	Nymphalidae	<i>Adelpha erotia erotia</i> , <i>Adelpha fesonia</i> (Hewitson), <i>Anartia fatima fatima</i> , <i>Anartia jatrophae luteipicta</i> , <i>Caligo brasiliensis sulanus</i> , <i>Chlosyne G. gaudalis</i> (H. Bares 1864), <i>Chlosyne hippodrome hippodrome</i> , <i>Chlosyne janais janais</i> , <i>Chlosyne lisina lisina</i> , <i>Chlosyne</i> sp, <i>Colobura dirce dirce</i> , <i>Consul</i> sp, <i>Danaus eresimus montezumae</i> , <i>Danaus plexipus</i> (L.), <i>Dryadula phaetusa</i> L., <i>Dryas iula moderata</i> , <i>Heresia casiphidia</i> Newitson, <i>Euptoieta hegesia</i> (Stichel, 1938), <i>Greta magane oto</i> , <i>Hamadryas arinome ariensis</i> , <i>Hamadryas frebua ferentina</i> , <i>Heliconius charithonia charithonia</i> , <i>Heliconius</i> sp, <i>Heliconius ertato petiverana</i> , <i>Heliconius hecalesia</i> , <i>Heliconius melpone rosina</i> , <i>Hippodrome geeyer</i> , <i>Junonia evarete evarete</i> , <i>Junonia lavinia Cramaer</i> , <i>Miraleria cymathoe</i> Witson, <i>Morpho</i> sp, <i>Pseudoscada timna pusio</i> , <i>Smyrna blomfildia</i> , <i>Siproeta epaphus epaphus</i> , <i>Siproeta stelenes bibliagiata</i> , <i>Taygetis laches laches</i> (Fabricius 1763) y <i>Thitorea</i> sp	37
7	Papilionidae	<i>Heraclides anchisiades ideaus</i> , <i>Heraclides cresphontes</i> , <i>Parides eurimedes mylotes</i> , <i>Parides erithalion sadyattes</i> , y <i>Parides iphidamas iphidamas</i> ,	5
8	Pieridae	<i>Ascia monuste</i> , <i>Eurema दौरa palmira</i> Poey 1852, <i>Glutophrissa drusilla drusilla</i> , <i>Phoebis argantae argantae</i> y <i>Pyristia proterpia</i>	6
9	Saturniidae	<i>Arsenura armida</i> , <i>Automeris</i> sp, <i>Periphoba arcaei</i>	3
10	Sematuridae	<i>Sematura lunus</i> (L.)	1
TOTAL			60

Un segundo orden con mayor cantidad de individuos fue Orthóptera con 322, el cual estuvo representado por solo 4 familias que fueron: Acrididae, Gryllidae, Romaelidae y Tettigoniidae, siendo Acrididae la familia con la mayor cantidad de individuos (294) los cuales se presentaron en mayor número durante la época de invierno. Por lo contrario la familia Romaelidae solo presentó un individuo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Distribución de las capturas del orden Orthoptera. Finca Sabana Grande, Escuintla, 2014.

Grupo taxonómico	Meses de muestreo, años 2013-2014							TOTAL
	Julio 2013	Agosto 2013	Sept. 2013	Enero 2014	Febrero 2014	Marzo 2014	Abril 2014	
1. Acrididae	100	129	42	4	15	4	0	294
2. Gryllidae	0	4	1	0	2	0	0	7
3. Romaelidae	0	0	1	0	0	0	0	1
4. Tettigoniidae	5	3	7	0	5	0	0	20
TOTALES	105	136	51	4	22	4	0	322

El orden Coleóptera fue uno de los más numerosos y diversos con 233 individuos repartidos en 14 familias; siendo la familia más representativas Scarabaeidae con 91 individuos que reporto géneros de importancia como *Phyllophaga*, *Anomala*, *Cyclocephala*, *Crypsina*, *Deltochilium* y *Homophileurus*; *Passalidae* con 59 individuos, *Cantharidae* con 22 y *Staphylinidae* con 20. Por el contrario las familias con menor número de individuos fueron *Carabidae*, *Elateridae*, *Mordellidae* y *Platypodidae* con un individuo colectado (Cuadro 6).

Cuadro 6. Distribución de las capturas del orden Coleóptera. Finca Sabana Grande, Escuintla, 2014.

Grupo taxonómico	Meses de muestreo, años 2013-2014							TOTAL
	Julio 2013	Agosto 2013	Sept. 2013	Enero 2014	Febrero 2014	Marzo 2014	Abril 2014	
1. Cantharidae	1	0	0	0	21	0	0	22
2. Carabidae	0	0	0	0	0	0	1	1
3. Cerambycidae	0	0	0	1	3	0	1	5
4. Chrysomelidae	2	2	0	1	0	0	4	9
5. Curculionidae	0	1	0	0	1	0	0	2
6. Elateridae	0	0	0	0	0	0	1	1
7. Erotylidae	0	2	0	0	0	0	0	2
8. Mordellidae	0	0	0	0	1	0	0	1
9. Passalidae	1	1	0	0	0	48	9	59
10. Platypodidae	0	0	0	0	1	0	0	1
11. Scarabaeidae	1	3	0	5	26	11	45	91
12. Scolytidae	0	0	0	0	10	0	0	10
13. Staphylinidae	0	0	0	0	20	0	0	20
14. Tenebrionidae	0	0	0	1	6	0	0	7
15. Sd	0	1	0	0	1	0	0	2
TOTALES	5	10	0	8	90	59	61	233

En lo referente al orden Hymenóptera es de mencionar que la mayoría de los insectos capturados fueron de tamaño pequeño a través de la pantalla de luz, siendo las familias más representativas Pteromalidae con 91 individuos, Formicidae con 55 individuos, Ichneumonidae con 36 individuos y Mymaridae con 14 individuos. Por lo contrario para las familias Chalcididae, Diprionidae, Halictidae, Scelionidae y Sphecidae solo se capturó un individuo para cada familia (Cuadro 7).

Cuadro 7. Distribución de las capturas del orden Hymenóptera. Finca Sabana Grande, Escuintla, 2014.

Grupo taxonómico	Meses de muestreo, años 2013-2014							TOTAL
	Julio 2013	Agosto 2013	Sept. 2013	Enero 2014	Febrero 2014	Marzo 2014	Abril 2014	
1. Apidae	0	0	0	2	2	2	0	6
2. Braconidae	0	0	0	0	2	0	0	2
3. Chalcididae	0	0	0	0	0	1	0	1
4. Diprionidae	1	0	0	0	0	0	0	1
5. Formicidae	2	0	0	0	12	41	0	55
6. Halictidae	0	0	0	0	0	1	0	1
7. Ichneumonidae	0	0	0	1	0	35	0	36
8. Megachilidae	0	0	0	0	0	4	0	4
9. Mymaridae	0	0	0	0	14	0	0	14
10. Pompilidae	0	0	0	0	0	9	0	9
11. Pteromalidae	0	0	0	0	1	90	0	91
12. Scelionidae	0	0	0	0	0	1	0	1
13. Sphecidae	0	0	0	0	0	1	0	1
14. Vespidae	1	0	0	1	5	0	2	9
TOTALES	4	0	0	4	36	185	2	231

Determinación de índices biológicos

En relación al total de grupos taxonómicos (familias) se les estimó su riqueza biológica a través del programa computacional PAST (Paleontological Statistics) (Cuadro 8).

De acuerdo a los índices de Shanon-Wiener (H') y Margalef que se presentan en el cuadro 8, se rechaza la hipótesis planteada ya que manifiestan que el agroecosistema café de la finca Sabana Grande es de mediana a altamente diverso, razón por la cual debe preservarse por la cantidad de grupos taxonómicos que involucra y que pueden observarse a simple vista. El índice de equidad de Pielou (J') manifiesta la riqueza entomológica ($N= 1625$), estimada en los diferentes muestreos de insectos está distribuida en un 64.89% en los 80 grupos taxonómicos evaluados. Por último el índice de Chao-1, indica que existe la probabilidad de encontrar otros grupos taxonómicos (familias) que no fueron registrados y en base a los datos obtenidos en los diferentes muestreos realizados podrían encontrarse un total de hasta 114 grupos taxonómicos.

Cuadro 8. Estimación de índices biológicos por familias de insectos capturados en la Finca Sabana Grande, Escuintla, 2014.

Valores usados	Shannon-Wiener (H')	Equidad, Pielou (J')	Dominancia Simpson ($D= 0.1329$)	Margalef	Chao-1
S= 80 N= 1652	2.875	0.6489	0.8671	11.23	95.67 88 - 114

Fuente: Elaboración propia

Referencias:

- N = Número de individuos S = Grupos taxonómicos (familias)
 H' = Índice de Shannon-Weiner J' = Índice de equidad de Pielou
 D = Probabilidad de que los individuos tomados al azar sean de la misma especie
 $Chao-1$ = Estimador del número de familias del agroecosistema café

CONCLUSIONES

La diversidad entomológica colectada en el agroecosistema café de la Finca Sabana Grande fue de 1,634 (un mil seiscientos treinta y cuatro) individuos, distribuidos en 14 órdenes y 80 familias. El orden que más individuos presentó fue Lepidóptera (mariposas diurnas y nocturnas) con el 40% del total de capturas realizadas, seguido de Orthóptera (saltamontes, esperanzas, grillos) con el 20%, luego se encuentran Coleóptera (ronrones y escarabajos) e Hymenóptera (abejas, avispas, hormigas y abejorros) con 14% cada uno; Homóptera (saltahojas, chicharras, toritos) con 3.40%; Odonata (libélulas y caballitos del diablo) con 3%; Hemíptera (chinchas verdaderas) con 1.60%; Díptera (moscas y mosquitos) con 1.40% y Neuróptera (moscas dobson, mantispidos y crisopas) con 1.10% . El resto de órdenes fueron Trichóptera, Blattodea, Mantodea, Ephemeroptera y Dermáptera con una representación de 1.5% con 24 individuos distribuidos en 4 familias.

La riqueza entomológica medida a través de la cantidad de familias de insectos registrados en la Finca Sabana Grande correspondiente a los diferentes órdenes de insectos colectados fueron: Lepidóptera con 634 individuos distribuidos en 14 familias, Orthóptera con 322 individuos distribuidos en 4 familias, Coleóptera con 233 individuos en 14 familias, Hymenóptera con 231 individuos en 14 familias, Homóptera con 55 en tres familias, Odonata con 48 en 5 familias, Hemíptera con 26 en 10 familias, Díptera con 23 en 8 familias, Neuróptera con 18 en 2 familias, Trichóptera con 10 individuos y familia y especies que trabajan especialistas en España respecto a su determinación, Blattodea 6 en 2 familias, Mantodea 5 en Mantidae, Ephemeroptera 2 sin determinar a qué familia corresponden y Dermáptera uno que pertenece a la familia Forficulidae.

Doce fueron las familias de insectos que registraron mayor presencia en el agroecosistema café bajo las condiciones de la Finca Sabana Grande: Nymphalidae (481 individuos), Acrididae (294), Pieridae (37), Pteromalidae y Scarabaeidae con 91 individuos cada una, Passalidae (59), Formicidae (55), Pieridae (37), Ichneumonidae (36), Noctuidae (29), Staphylinidae y Tettigoniidae con 20 individuos cada una.

Referente a la cantidad de individuos y sus diferentes grupos taxonómicos analizados se estableció un índice de Shannon-Wiener (H') de 2.875 que señala que el agroecosistema café de la Finca Sabana Grande, Escuintla es medianamente diverso, razón por la cual debe de establecerse como una parcela permanente de monitoreo entomológico para conocer los efectos sobre el mismo a través de la diferentes actividades realizadas por el hombre y su efecto sobre las especies que en él habitan.

AGRADECIMIENTOS

- Ing. Agr. Pompilio Gutiérrez por su colaboración y disposición para la realización de este estudio en la Finca Sabana Grande y a los señores José Ricardo Hernández García, Félix Armando Orizábal Pérez y Walter Armando Rivas Barillas por su atención a mi persona y estudiantes durante nuestra estancia en cada colecta mensual realizada.
- Estudiantes de los laboratorios del curso de Entomología General correspondientes al segundo semestre 2013 y primer semestre 2014, que colaboraron en las diferentes colectas mensuales.
- M.Sc. Filadelfo Guevara Chávez por su guía y asesoría referente a la taxonomía de algunas familias y especies de insectos colectados.
- A mi esposa Syndy Cardona por toda su abnegación, paciencia, comprensión y tiempo brindado para el desarrollo de este estudio, y a Gaby González por la elaboración del abstract.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cano, E.B. 2006. Biodiversidad de Guatemala. Guatemala. Universidad del Valle. 674 p.
2. Cano, E.; Schuster, J. 2012. Biodiversidad de Guatemala. Guatemala. v.2 Universidad del Valle. 328 p.
3. Chacón, I.; Montero, J. 2007. Mariposas de Costa Rica. Costa Rica. INBIO. 624 p.
4. Guevara Chávez, F. 2014. Evaluación de los insectos de los bosques de la Laguna Chicabal, Quetzaltenango, Guatemala. 62 p.
5. Hanson, P.; Gauld, I. 2006. Hymenoptera de la región neotropical. Trad. María Marta Kandler. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Escuela de Biología. 994 p.
6. Ibarra, I. 2001. Instrumentos económicos para la gestión de la biodiversidad: Un análisis de planteamientos conceptuales. Universidad Rafael Landívar, Guatemala. 69 p.
7. Monge-Nájera, J.; Gómez Figueroa, P.; Rivas Rossi, M. 1998. Biodiversidad Tropical. San José, C.R. EUNED. 332 p.
8. Monzón Sierra, J.; Laguerre, M.; Herbin, D. Mariposas nocturnas (Familias Arctiidae, Saturniidae y Sphingidae) de la reserva Refugio del Quetzal (Guatemala, Suchitepéquez). Guatemala. Universidad del Valle, revista 21. pp. 69-87.
9. Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, España. CYTED-ORCYT-Sociedad Entomológica Aragonesa. 80 p.
10. Piñas Rubio, F.; Manzano Pesantes, I. 1997. Mariposas del Ecuador. v.1 géneros. Quito, Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 115 p.
11. Triplehorn, C.A.; Jhonson, N.F. 2005. Borror and DeLong's Introduction to the study of insects. 7 ed. Belmont, California, USA. Brooks/Cole. 864 p.
12. Ugalde, J.A. 2002. Avispas, abejas y hormigas de Costa Rica. Santo Domingo de Heredia. Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad. 174 p.
13. URL, GT. 2003. Estado actual de la biodiversidad en Guatemala. Informe técnico No. 8. IARNA-URL-FCAA- Países bajos. 91 p.
14. Zumbado, M. 2006. Dípteros de Costa Rica y la América Tropical. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad. 267 p.



RESÚMENES DE TESIS

Evaluación del rendimiento de 11 cultivares de lechuga tipo Iceberg de acuerdo a los requerimientos del tipo de mercado, en la Finca Experimental Rijk Zwaan, Parramos, Chimaltenango, Guatemala, C.A.

Ana Lucía Posadas García

RESUMEN

En el Programa de Ejercicio Profesional Supervisado ejecutado en la Finca Experimental Rijk Zwaan, Parramos, Chimaltenango, de agosto 2015 a mayo 2016, se diagnosticó que los principales problemas son: falta de abonera, ni capacitación a trabajadores de campo, no existe registro de control de cultivos, no cuenta con un manual de buenas prácticas agrícolas, no se realiza análisis de suelos, población de nematodos y dependencia externa en la elaboración de pilones. En la investigación inferencial se evaluó el rendimiento de 11 cultivares de lechuga tipo Iceberg de acuerdo a requerimientos del tipo de mercado en la Finca Experimental Rijk Zwaan, Parramos, Chimaltenango, en un diseño en bloques completos al azar, con 11 tratamientos y 3 bloques; la producción se destina a tres tipos de mercado: I) Mercado local, II) Empaque, industrialización y distribución a supermercados y III) Consumo directo. Se concluye que Faunas RZ, es el cultivar que contiene las características de los tres tipos de mercado; el mejor rendimiento de 57.54 T/ha, teniendo un 61.82 % para mercado de proceso, ya que no presenta hojas de cobertura ni corazón, ideal para la preparación de alimentos. Los servicios realizados fueron: un manual sobre las buenas prácticas agrícolas (dirigido especialmente a

trabajadores y encargados del área de campo), una base de datos que facilitó un mejor control sobre los cultivos en campo, la planificación de siembra, la evaluación de ensayos, elaboración de cálculos para aplicación de fertilizante y los informes financieros semanales.

Palabras clave: Lechuga, *Lactuca sativa*, Rendimiento, Variedades

ABSTRACT

In the Supervised Professional Exercise Program, executed at the Experimental Farm Rijk Zwaan, Parramos, Chimaltenango, from August 2015 to May 2016, the main problems were diagnosed as: lack of fertilizer, or training of field workers, there is no record of Control of crops, does not have a manual of good agricultural practices, soil analysis, nematode population and external dependence in the production of pylons. In the inferential investigation, the yield of 11 iceberg lettuce cultivars was evaluated according to market type requirements at the Rijk Zwaan Experimental Farm, Paramos, Chimaltenango, in a randomized complete block design with 11 treatments and 3 blocks; The production is destined to three types of market: I) Local market, II) Packaging, industrialization and distribution to supermarkets and III) Direct consumption. It is concluded that Faunas RZ, is the cultivar that contains the characteristics of the three market types; the best yield of 57.54 T / ha, having a 61.82% for process market, since it does not present cover sheets or heart, ideal for food preparation. The services provided were: a manual on good agricultural practices (aimed specifically at workers and field workers), a database that facilitated better control over field crops, planting planning, trial evaluation, Preparation of calculations for fertilizer application and weekly financial reports.

Keywords: Lettuce, *Lactuca sativa*, Yield, Varieties.

Evaluación del efecto de tres productos comerciales que contienen auxinas, giberelinas, citoquininas y nutrientes en la producción y calidad del fruto en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), diagnóstico y servicios, El Amatillo, Agua Blanca, Jutiapa, Guatemala, C.A.

José Guillermo Ruiz Chavarría

RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía realizado de febrero a noviembre 2016, en el Departamento de Investigación de Duwest Guatemala, aldea El Amatillo, Jutiapa. El diagnóstico identificó que los agricultores utilizan las mismas fórmulas de fertilizantes granulados como el 15-15-15 o 20-20-20 desde hace más de 12 años, y no tiene el conocimiento científico del funcionamiento de la aplicación de productos con fitohormonas. La investigación inferencial evaluó el efecto de tres concentraciones de bioestimulante, para el aumento de la producción del tomate (*Solanum lycopersicum*), en un bloques al azar, con cuatro tratamientos (Stimulate, Potenciador, Crecimiento y Testigo) y cuatro bloques. Los resultados indican que el Potenciador presentó los mayores rendimientos en kg/ha (97,959, 000), seguido de Stimulate (80,816) y Crecimiento (79,592), comparados con el testigo (77,143). La tercera etapa consistió en el apoyo en evaluación de nuevos productos en tomate (*Solanum lycopersicum*) y chile (*Capsicum annum*), montaje de parcelas

experimentales para la evaluación de nuevos productos en café (*Coffea arabica* var. Catuaí) y charlas informativas para los agricultores sobre productos de la empresa.

Palabras clave: Tomate, *Solanum lycopersicum*, Estimulantes del crecimiento, Rendimiento, Calidad del fruto.

ABSTRACT

The Supervised Professional Exercise of Agronomy, conducted from February to November 2016, in the Research Department of Duwest Guatemala, El Amatillo village, Jutiapa. The diagnosis identified that farmers use the same formulas of granular fertilizers as 15-15-15 or 20-20-20 for more than 12 years, and do not have the scientific knowledge of the operation of the application of products with phytohormones. Inferential research evaluated the effect of three concentrations of biostimulant for the increase of tomato production (*Solanum lycopersicum*) in a randomized block with four treatments (Stimulate, Enhancer, Growth and Witness) and four blocks. The results indicate that the Potentiator presented the highest yields in kg / ha (97,959,000), followed by Stimulate (80,816) and Growth (79,592), compared to the control (77,143). The third phase consisted in the evaluation of new products in tomato (*Solanum lycopersicum*) and chile (*Capsicum annum*), experimental plots for the evaluation of new products in coffee (*Coffea arabica* var. Catuaí) and informative talks for farmers About products of the company.

Keywords: Tomato, *Solanum lycopersicum*, Growth Stimulants, Yield, Fruit quality.

Estudio de la situación socioeconómica para la restitución material en la modalidad de inversión productiva individual a víctimas del enfrentamiento armado interno en tres comunidades del área Ixil, Guatemala, C.A.

Edith Abigail Sapón Álvarez

RESUMEN

En el Ejercicio Profesional Supervisado realizado en el Programa Nacional de Resarcimiento –PNR–, desarrollado en las comunidades de Ilom de Chajul; Vipecbalam de Nebaj y Santa Avelina de San Juan Cotzal, Quiché, se propuso resarcir en la modalidad de inversión productiva de manera individual-familiar a través de proyectos productivos se conoció la organización comunitaria, la disponibilidad y uso de recursos naturales, la visión y disposición que las personas de estas tres comunidades tienen ante la propuesta de implementar un proyecto productivo para su beneficio. Se desarrolló de dos fases: Primera fase elaboración de Estudios de Capacidad de Uso de la Tierra –ECUT–, mediante la metodología del INAB. El servicio de acompañamiento en la elaboración de proyectos de inversión productiva, se efectuó para las tres comunidades: (i) Proyecto de inversión productiva, renovación y mantenimiento de café, comunidad Nueva Victoria, San Pedro Yepocapa, Chimaltenango el cual concluyo todo su proceso en cuanto a completar la papelería y elaboración de documentos necesarios, esperando su ejecución. (ii) Proyecto de inversión productiva, renovación, mantenimiento, transformación y comercialización de café, Colonia 15 de Octubre, La Trinidad, Escuintla, en el cual se completó papelería y documentos necesarios los cuales están en proceso de revisión, pendiente

de ejecución, (iii) Proyecto de inversión productiva, caco orgánico, Comunidad Pinares, Santa María Cahabón, Alta Verapaz, se encuentra en proceso inicial, revisión de papelería y elaboración de documentos.

Palabras clave: Guatemala, Quiché, Triángulo Ixil, Programa Nacional de Resarcimiento, Programas Productivos

ABSTRACT

In the Supervised Professional Exercise, carried out in the National Reparation Program (PNR), developed in the communities of Ilom de Chajul; Vipebalam de Nebaj and Santa Avelina de San Juan Cotzal, Quiché, proposed to compensate in the modality of productive investment in an individual-family way through productive projects. Community organization was known, the availability and use of natural resources, vision and disposition That the people of these three communities have before the proposal to implement a productive project for their benefit. It was developed in two phases: First phase elaboration of Studies of Capacity of Use of the Earth –ECUT–, by means of the methodology of the INAB. The support service in the elaboration of productive investment projects was carried out for the three communities: (i) Project for productive investment, renovation and maintenance of coffee, Nueva Victoria community, San Pedro Yepocapa, Chimaltenango, which concluded its entire process in As to complete the stationery and preparation of necessary documents, awaiting execution. (Ii) Project for productive investment, renovation, maintenance, transformation and marketing of coffee, Colonia 15 de Octubre, La Trinidad, Escuintla, in which paperwork and necessary documents were completed and are under review, pending implementation Iii) Project of productive investment, organic caco, Community Pinares, Santa María Cahabón, Alta Verapaz, is in initial process, revision of stationery and elaboration of documents.

Keywords: Guatemala, Quiché, Triangle Ixil, National Reparation Program, Productive Programs.

Determinación de zonas susceptibles a inundaciones en la parte baja de la cuenca del Río Nahualate

Francisco Guillermo Pellecer Aguirre

RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía se desarrolló en el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC–, en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. El diagnóstico determinó la creación y la estructura organizativa del ICC, específicamente del Programa de Investigación de Clima e Hidrología, para determinar sus objetivos dentro de la institución e identificar vacíos de información. La investigación inferencial determinó las zonas de inundación de la cuenca del río Nahualate, los resultados indican que los eventos de precipitación convectivos, que presentan intensidades elevadas y periodos de duración cortos, característicos de la época lluviosa del país, no desencadenan inundaciones por el desborde del río Nahualate en la parte baja de la cuenca. Los eventos asociados a fenómenos extremos como ciclones, tormentas y depresiones tropicales, los cuales tienen intensidades de precipitaciones bajas pero que se extienden a lo largo de muchas horas o incluso días, provocan el desborde del río Nahualate y zonas inundables. Los servicios prestados buscaban enriquecer y mejorar los procesos de la información meteorológica y de los recursos hídricos.

Palabras clave: Guatemala, Río Nahualate, Intensidad de lluvias, Registros climáticos, Mapas, Modelación.

ABSTRACT

The Supervised Professional Exercise of Agronomy, was developed at the Private Institute of Climate Change Research -ICC-, in Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. The diagnosis determined the creation and organizational structure of the ICC, specifically the Climate and Hydrology Research Program, to determine its objectives within the institution and to identify information gaps. Inferential research determined the floodplain areas of the Nahualate River basin, the results indicate that convective precipitation events, which have high intensities and short duration periods characteristic of the country's rainy season, do not trigger flooding due to the overflow of Nahualate river in the lower part of the basin. Events associated with extreme events such as cyclones, storms and tropical depressions, which have low rainfall intensities but extend over many hours or even days, cause overflow of the Nahualate River and floodplains. The services provided sought to enrich and improve the processes of meteorological information and water resources.

Keywords: Guatemala, Nahualate River, Rainfall intensity, Climate records, Maps, Modeling.

Evaluación del efecto de riego con tres frecuencias y dos fuentes de fertilización en la producción de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) en la etapa de macollamiento, Finca La Cuchilla, La Gomera, Escuintla, Guatemala, C.A. y elaboración de diagnóstico y servicios en Ingenio Pantaleón

Boris Gustavo Girón Contreras

RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado se desarrolló en el Departamento de Ingeniería Agrícola, Área de Riegos del Ingenio Pantaleón, de febrero a noviembre de 2014, el diagnóstico se enfocó en los diseños y la operación de los sistemas de riego por aspersión semifijos y móvil mini. La investigación se realizó en Finca La Cuchilla, Playa Grande, la política de Ingenio Pantaleón pretende inducir un significativo cambio en las técnicas de manejo del riego, considerando que el cultivo de caña de azúcar es de larga duración, el cual produce enormes cantidades de biomasa y este cultivo requiere grandes volúmenes de agua, se conoció cuánto tiempo resiste el cultivo sin agua, se evaluó durante 11 meses caña soca (variedad CP72 2086). Se logró determinar la necesidad macro y micro nutrientes que el cultivo. El sistema de riego fue por aspersión con aspersores tipo mini Wobbler, con finalidad primordial el ahorro de agua y darle al cultivo la cantidad requerida para su máximo desarrollo. Los servicios fueron: evaluación de los efectos de las diferentes láminas y frecuencias de riego en la producción de caña de azúcar; e inventariar todos los accesorios utilizados en los equipos de riego

por aspersión móvil y semifijos en el Ingenio Pantaleón; este servicio permitió enfocarse al riego por aspersión móvil y semifijo el cual se llevó a cabo en las tres regiones del ingenio Pantaleón, cubriendo un 40% del área total de riego.

Palabras clave: Caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, Riego, Calendario de los riegos, Riego por aspersión, Eficiencia de los riegos

ABSTRACT

The Supervised Professional Exercise was developed in the Department of Agricultural Engineering, Irrigation Area of Ingenio Pantaleón, from February to November of 2014, the diagnosis focused on the designs and operation of sprinkler irrigation systems with semi-fixed and mobile mini. The research was conducted at Finca La Cuchilla, Playa Grande, the policy of Ingenio Pantaleón is intended to induce a significant change in irrigation management techniques, considering that the sugarcane cultivation is long-lasting, which produces huge amounts of biomass And this crop requires large volumes of water, it was known how long it lasts without water, it was evaluated for 11 months cane soca (variety CP72 2086). It was possible to determine the macro and micro nutrient needs of the crop. The irrigation system was by spraying with sprinklers mini Wobbler, with primary purpose the saving of water and give the crop the amount required for maximum development. The services were: evaluation of the effects of the different sheets and frequencies of irrigation in the production of sugar cane; And inventory all the accessories used in the equipment of irrigation by mobile and semifinished sprinkler in the Ingenio Pantaleón; This service allowed to focus on the irrigation by mobile and semi-sprinkler which was carried out in the three regions of the Pantaleón mill, covering 40% of the total area of irrigation.

Keywords: Sugar cane, *Saccharum officinarum*, Irrigation, Calendar of risks, Sprinkler irrigation, Irrigation efficiency.

Evaluación de dos bioestimulantes para mejorar el rendimiento en la producción del cultivo de ejote francés (*Phaseolus vulgaris* L.), diagnóstico y servicios realizados en la Empresa Tierra de Árboles, S.A, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala, C.A.

Marvin Efraín Ventura González

RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) se realizó en la Empresa Tierra de Árboles S.A., San Andrés Itzapa, departamento de Chimaltenango, de febrero a noviembre del 2015. El diagnóstico colectó información primaria y secundaria de la finca, para la identificación y priorización de problemas. La finca cuenta con un área de 2 has, actualmente produce ejote francés y arveja china, producto es exportado al mercado europeo, actualmente cuentan con un sistema de gestión de calidad de acuerdo al protocolo GLOBAL G.A.P. La investigación consistió en la evaluación de dos bioestimulantes para mejorar el rendimiento en la producción del ejote francés (*Phaseolus vulgaris* L.), mediante un experimento bifactorial dispuesto en un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y se evaluaron tres tratamientos y un testigo absoluto. El mejor tratamiento fue, concentraciones de 50 cm³ del Producto A y 75 cm³ del Producto B, quien presentó el mejor rendimiento: 32121.21 kg/ha, comparado al testigo, 19810.61 kg/ha, incremento del 51%; el análisis económico muestra que existe un incremento en los costos utilizando los bioestimulantes con respecto al testigo absoluto sin embargo este también presenta un incremento en el rendimiento, el análisis económico reportó una relación beneficio-costo mayor en el tratamiento testigo. El servicio consistió en la implementación del protocolo GLOBAL

G.A.P: mayor producción agrícola, minimizando el impacto de la explotación en el medio ambiente, reduciendo el uso de insumos químicos y asegurando un proceder responsable en la salud y seguridad de los trabajadores.

Palabras clave: Ejote francés, *Phaseolus vulgaris*, Bioestimulantes, Dosis de aplicación, Rendimiento, Rentabilidad

ABSTRACT

The Supervised Professional Exercise (EPS) was performed at Empresa Tierra de Árboles SA, San Andrés Itzapa, department of Chimaltenango, from February to November 2015. The diagnosis collected primary and secondary information from the farm, for the identification and prioritization of problems. The farm has an area of 2 hectares, currently produces French peas and Chinese peas, product is exported to the European market, currently have a quality management system according to the protocol GLOBAL G.A.P. The research consisted of the evaluation of two biostimulants to improve the yield of the French bean (*Phaseolus vulgaris* L.), by means of a bifactorial experiment arranged in a randomized block design according to divided plots and evaluated three treatments and one Absolute witness. The best treatment was: concentrations of 50 cm³ of Product A and 75 cm³ of Product B, which presented the best yield: 32121.21 kg / ha, 0 compared to the control, 19810.61 kg / ha, 51% increase; The economic analysis shows that there is an increase in costs using biostimulants with respect to the absolute control, but this also shows an increase in yield, the economic analysis reported a higher benefit-cost ratio in the control treatment. The service consisted in the implementation of the GLOBAL G.A.P protocol: increased agricultural production, minimizing the impact of exploitation on the environment, reducing the use of chemical inputs and ensuring a responsible approach in the health and safety of workers.

Keywords: French Bean, *Phaseolus vulgaris*, Biostiestimulants, Application Dose, Yield, Profitability.



REVISTA TIKALIA



INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

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

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

Exclusivamente se presentan trabajos escritos en idioma Español para su publicación, los mismos serán evaluados en su contenido científico-tecnológico por el Consejo Editorial de la Facultad de Agronomía, quien podrá invitar “referees” anónimos, dependiendo de la naturaleza del artículo presentado. Los trabajos pueden aprobarse sin correcciones, sujetos a correcciones, o no ser aceptados para su publicación.

POLÍTICA EDITORIAL

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

PÚBLICO OBJETIVO

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

FORMA Y PREPARACIÓN DE LOS TRABAJOS

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

En la primera página deberá contener el título del trabajo, el resumen y las palabras clave. En los trabajos en Español, los títulos de cuadros y figuras deberán ser escritos también en inglés; y para los artículos en Inglés en Español. Los cuadros y figuras deberán ser numerados con números arábigos consecutivos y aparecer referidos en el texto.

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

Los títulos de las figuras deberán aparecer en la parte inferior anteceditos de la palabra "Figura" seguida de su número de

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

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

Los trabajos deben presentarse de acuerdo con el siguiente esquema: TÍTULO en Español, RESUMEN (seguido de palabras clave), TÍTULO DEL ARTÍCULO en Inglés, ABSTRACT (seguido de key words); 1. INTRODUCCIÓN (incluyendo revisión de literatura); 2. MATERIAL Y MÉTODOS; 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN; 4. CONCLUSIONES; 5. AGRADECIMIENTOS (si pertinente); y 6. LITERATURA CITADA, alineadas a la izquierda.

ENVÍO DE TRABAJOS (ARTÍCULOS Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA)

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

Recomendaciones de edición:

Presentación

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

Título: Conciso e indicar el contenido del trabajo.

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

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

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

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

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

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

Conclusión: Con base en la información discutida.

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

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

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

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

Libro: Autores. Título de la publicación. Número de edición. Local, Editora, año de publicación. Número de páginas. Ejemplo:

FISHER, R.F. & BINKLEY, D. 3.ed. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2000. 489p.

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

Capítulo de libro:

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

Publicación en Memorias:

VETTORI, L. Ferro “livre” por cálculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.127-128.

CD-ROM

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

Internet:

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

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

Revista **etikalia** se terminó de imprimir en el mes de marzo de 2017, en los talleres de Editora Arizandieta, con una tirada de 300 ejemplares en papel bond beige de 80 gramos.

