



TIKALIA

Volumen XXVI Nos. 1 - 2 2008

Órgano de divulgación de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala



**Evaluación de diferentes
concentraciones de nitrógeno
y potasio en solución hidropónica
en el tomate (*Lycopersicon
esculentum* Mill.), híbrido
Dominique, en condiciones
de invernadero**

Revista TIKALIA (Volumen XXVI, Nos. 1 y 2, 2008), órgano divulgativo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, da a conocer estudios científico técnicos de las ciencias agrícolas y de los recursos naturales renovables. Este número contiene los artículos científicos siguientes:

Evaluación de diferentes concentraciones de nitrógeno y potasio en solución hidropónica en el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), híbrido Dominique, en condiciones de Invernadero. Iván Dimitri Santos Castillo, César Luna.

Abonos verdes: Una fuente de nitrógeno para la Agricultura Orgánica. Eddi Alejandro Vanegas Chacón.

Producción comunal sostenible de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) para el mejoramiento del bienestar rural y la conservación biológica en el altiplano occidental de Guatemala. José Pablo Prado Córdova, Uffe Strandby Andersen, Johannes Kollmann, Marten Sørensen, Charlotte Nielsen, Juan José Castillo, Álvaro Hernández

Análisis por espectrometría de iso-valtrato en extracto de hoja y raíz de valeriana (*Valeriana prionophylla* Standl.) cultivadas en dos localidades diferentes de Guatemala. Davinson Riquett, Sully Cruz, Armando Cáceres, Vicente Martínez.

Análisis del ciclón tropical STAN en la cuenca del río Coyolate. Juan Carlos Fuentes Montepeque, Elfego Odvin Orozco Fuentes.

Determinación fitoquímica y de actividad antifúngica de cultivares de *Solanum Americanum* Miller y caracterización de preparaciones para la industria fitofarmacéutica. A. Cáceres, V. Martínez, AM. Paz, M. Véliz, A. Saravia, I. Gaitán, SM. Cruz, H. Ortiz, C. Teleguario, M. Chigüichón.



Órgano de divulgación de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Vol. XXVI, Nos. 1 - 2



Guatemala
2008

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

Junta Directiva

Decano: Ing. Agr. Francisco Vásquez
Secretario: Ing. Agr. Edwin Cano Morales
Vocal I: Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
Vocal II: Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
Vocal III: Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Ávila
Vocal IV: Br. Rigoberto Morales
Vocal V: Br. Miguel Armando Salazar D.

Comité Editorial

Dr. Hugo Cardona Castillo
Dr. Eddi Vanegas Chacón
Ing. Agr. Byron Zúñiga
Pdta: Dennis Escobar Galicia

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

PRESENTACIÓN

Revista TIKALIA (Volumen XXVI, Nos. 1 y 2, 2008), órgano divulgativo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, da a conocer estudios científico técnicos de las ciencias agrícolas y de los recursos naturales renovables. En este número contiene los artículos científicos siguientes:

“Evaluación de diferentes concentraciones de nitrógeno y potasio en solución hidropónica en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), híbrido Dominique, en condiciones de invernadero” de Iván Dimitri Santos Castillo y César Luna. Este artículo muestra la importancia de modificar las concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva, durante los estados de desarrollo de la planta del tomate.

“Abonos verdes: Una fuente de nitrógeno para la Agricultura Orgánica” de Eddi Alejandro Vanegas Chacón. Este estudio se refiere a que los abonos verdes *Calopogonium mucunoides* (Calopogonio), *Crotalaria juncea* (Crotalaria), *Cajanus cajan* (Gandul), *Stizolobium atterimum* (Mucuna) y *Leucaena leucocephala* (Leucaena) fueron bioquímicamente caracterizados y su potencial fertilizante evaluado mediante la técnica de “bolsas de descomposición”, cuantificando la pérdida porcentual de materia seca y liberación de nitrógeno proveniente de su biodegradación a lo largo de 150 días en condiciones tropicales.

“Producción comunal sostenible de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) para el mejoramiento del bienestar rural y la conservación biológica en el altiplano occidental de Guatemala” de José Pablo Prado Córdova y otros. Esta investigación tiene por objetivo general mejorar nuestro conocimiento sobre las relaciones de causa y efecto entre el pinabete, el ecosistema del cual forma parte y las comuni-

dades rurales que habitan y han interactuado históricamente con otros bosques. Para ello se ha desarrollado un enfoque interdisciplinario con métodos de la Ecología, las ciencias forestales y las ciencias sociales.

“Análisis por espectrometría de solvaltrato en extracto de hoja y raíz de valeriana (*Valeriana prionophylla* Standl.) cultivadas en dos localidades diferentes de Guatemala” de Davinson Riquett y otros. Este estudio contiene los resultados de las cosechas de hojas y raíces de *V. prionophylla* de dos localidades de Guatemala. A las muestras colectadas se les realizó una extracción con diclorometano y una posterior separación por cromatografía en columna utilizando como fase estacionaria sílica gel y como fase móvil una mezcla de tolueno-acetato de etilo 75:25.

“Análisis del ciclón tropical STAN en la cuenca del río Coyolate” de Juan Carlos Fuentes Montepeque y Elfego Odvin Orozco Fuentes. El estudio contiene un exhaustivo análisis de los efectos del ciclón tropical Stan en la cuenca del río Coyolate. Concluye, entre otras cosas, que además del monitoreo constante del nivel en los principales afluentes de la cuenca del río Coyolate, es necesario su almacenamiento y procesamiento, con el objetivo de analizar futuros eventos extremos, así como el de realizar pronósticos de crecidas e inundaciones para cada temporada de lluvias.

“Determinación fitoquímica y de actividad antifúngica de cultivares de (*Solanum Americanum* Miller) y caracterización de preparaciones para la industria fitofarmacéutica” de Armando Cáceres, Vicente Martínez y otros. Esta investigación evaluó el desarrollo agronómico, las características fotoquímicas y la actividad antifúngica de cinco colectas de *Solanum Americanum* y una de *Solanum nigrescens* para compararlos con cultivares desarrollados en los campos de la Facultad de Agronomía y desarrollar preparados fitofarmacéuticos.

CONTENIDO

- 7 Evaluación de diferentes concentraciones de nitrógeno y potasio en solución hidropónica en el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), híbrido Dominique, en condiciones de invernadero.
Iván Dimitri Santos Castillo y César Luna
-
- 23 Abonos verdes: Una fuente de nitrógeno para la Agricultura Orgánica.
Eddi Alejandro Vanegas Chacón
-
- 35 Producción comunal sostenible de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) para el mejoramiento del bienestar rural y la conservación biológica en el altiplano occidental de Guatemala.
José Pablo Prado Córdova, Uffe Strandby Andersen, Johannes Kollmann, Marten Sørensen, Charlotte Nielsen, Juan José Castillo, Álvaro Hernández
-
- 55 Análisis por espectrometría de isovaltrato en extracto de hoja y raíz de valeriana (*Valeriana prionophylla* Standl.) cultivadas en dos localidades diferentes de Guatemala.
Davinson Riquett, Sully Cruz, Armando Cáceres, Vicente Martínez
-
- 69 Análisis del ciclón tropical STAN en la cuenca del río Coyolate,
Juan Carlos Fuentes Montepeque, Elfego Odvin Orozco Fuentes
-
- 85 Determinación fitoquímica y de actividad antifúngica de cultivares de *Solanum Americanum* Miller y caracterización de preparaciones para la industria fitofarmacéutica.
A. Cáceres, V. Martínez, AM. Paz, M. Véliz, A. Saravia, I. Gaitán, SM. Cruz, H. Ortiz, C. Teleguario, M. Chigüichón

**Evaluación de diferentes
concentraciones de nitrógeno y
potasio en solución hidropónica en
el tomate (*Lycopersicon esculentum*
Mill.), híbrido Dominique, en
condiciones de invernadero**

Iván Dimitri Santos Castillo
César Luna

RESUMEN

Los resultados muestran la importancia de modificar las concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva, durante los estados de desarrollo de la planta de tomate. El estudio reveló que en la fase de desarrollo vegetativo la concentración de nitrógeno debe estar en el rango de 200 y 250 partes por millón, y en la fase fructificación la concentración de potasio debe estar en el rango de 250 y 300 partes por millón, pues con estas concentraciones se obtuvo el mayor rendimiento, el mayor porcentaje de fruto de primera calidad, la mayor rentabilidad y relación beneficio/costo. Estadísticamente, no existió respuesta en el diámetro del tallo de las plantas y el peso fresco de frutos de primera calidad en las plantas de tomate. En general se determinó que las concentraciones en partes por millón de nitrógeno y potasio más rentables para las condiciones en que se realizó el ensayo son 250 en el nivel vegetativo y 300 en el nivel fructificación respectivamente, con las que se obtuvo una rentabilidad del 186 % y una relación beneficio/costo de 2.85.

INTRODUCCIÓN

El tomate constituye uno de los principales ingredientes en la alimentación de las personas, consumido en una gran variedad de platillos. Con relación a 10 vitaminas y minerales, el tomate ocupa el lugar 16 entre las hortalizas, pero debido a su alto consumo ocupa el primer lugar por su contribución en la nutrición humana; además en los últimos años ha despertado un gran interés entre la comunidad científica por el efecto beneficioso que parece tener sobre el organismo, y cada vez son más los estudios que confirman que este vegetal es una fuente inagotable de propiedades preventivas (cáncer de colon, próstata, mama) y curativas (14). En la actualidad la producción de esta hortaliza es afectada por varios factores, entre estos se puede mencionar principalmente la contaminación del suelo por plagas y enfermedades; esta situación ha generado la necesidad de cultivar en sistemas protegidos (invernaderos) y buscar otras alternativas de producción como los sistemas hidropónicos, donde uno de los aspectos más importante es la formulación de la solución nutritiva, la cual viene siendo una mezcla de agua y nutrientes esenciales en cantidades y proporciones adecuadas para las plantas.

Existen un conjunto de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, tanto en campo abierto como en condiciones protegidas (invernadero), particularmente por erosión, salinidad, enfermedades y agotamiento de los suelos agrícolas (8). Frente a esta situación, los cultivos sin suelo aparecen como una alternativa imprescindible para dar solución a diversos problemas que se presentan, dichos cultivos forman parte de los sistemas de producción hidropónicos (8). En Guatemala, el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), se produce durante todo el año, sin embargo hay meses de gran afluencia al mercado; destacándose la región oriental como la zona productora más importante del país, la cual genera aproximadamente el 60% de la producción de tomate, y el otro 40% proviene del resto del país (22).

En la actualidad la producción en las zonas tomateras del país, atraviesa por distintas problemáticas; entre las cuales se destacan la presión de plagas y enfermedades, el deterioro de los ciclos naturales como el del agua, generando precipitaciones erráticas y el sistema suelo tanto en su fertilidad natural como en la contaminación del mismo, principalmente por hongos y bacterias. Esta situación ha traído como consecuencia, la necesidad de implementar la producción de cultivos protegidos (bajo invernadero) y dentro de estos, el cultivo en otro sustrato diferente al suelo, esto es producción hidropónica. Lo anterior genera la necesidad de impulsar o buscar nuevas alternativas al manejo de los sistemas hidropónicos, adaptando esta tecnología a las condiciones de las zonas productoras guatemaltecas.

El principal cultivo hidropónico a escala mundial es el tomate (20), en los últimos años se ha generado mucha información acerca de este y otros cultivos. En el caso específico del tomate, se menciona que la solución nutritiva debe ser modificada de acuerdo al estado de crecimiento y desarrollo del cultivo. Para el tomate, se han definido tres niveles de nutrición (UNALM) (20): a) el nivel 1 o vegetativo, en donde se debe aumentar la concentración de nitrógeno para inducir un mayor crecimiento vegetativo en las plantas; b) el nivel 2 o floración, en donde se debe aumentar la concentración de fósforo para inducir la floración en las plantas, ya que esta es una de las etapas donde se consumen las mayores cantidades de este elemento; c) el nivel 3 o fructificación, en donde se debe aumentar la concentración de potasio, pues este elemento juega un papel fundamental en la calidad (color, sabor) del fruto, debido a su participación en el desplazamiento de azúcares y en el equilibrio hídrico de la planta (4).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en la Escuela Nacional Central de Agricultura, en Bárcena, Villa Nueva, Guatemala, con la finalidad de evaluar el efecto de tres concentraciones de nitrógeno y potasio en solución nutritiva sobre el rendimiento del cultivo de tomate indeterminado híbrido Dominique, bajo condiciones de invernadero en cultivo hidropónico. Se evaluaron los tratamientos 150, 200 y 250 partes por millón de nitrógeno en el desarrollo vegetativo, aproximadamente los primeros 60 días del cultivo y 250, 300 y 350 partes por millón de potasio en la fase de fructificación, a partir de los 90 días del cultivo aproximadamente, asimismo se tuvo un tratamiento testigo, el cual mantuvo concentraciones de 150 partes por millón de nitrógeno y potasio constantes en todas las fases de desarrollo. La aplicación de la solución nutritiva fue con el agua de riego, cuando las plantas estaban pequeñas se realizaron riegos de 200 ml de solución dos veces al día y según el desarrollo de las plantas se fue aumentando la cantidad de riego hasta un máximo de 600 ml de solución cuatro veces al día. A continuación se muestran los tratamientos objeto de estudio durante la investigación.

Nivel de nutrición	Vegetativo, (60 días)	Floración, (30 días)	Fructificación, (60 días)
Nutriente evaluado	Nitrógeno		Potasio
Tratamientos			
T - 0	150		150
T - 1	150		250
T - 2	150		300
T - 3	150		350
T - 4	200		250
T - 5	200		300
T - 6	200		350
T - 7	250		250
T - 8	250		300
T - 9	250		350
Nutrientes invariables (ppm)	P=50; K=150	N=150; P=50; K=200	N=150; P=50

Las variables de respuesta estudiadas fueron: rendimiento en kg/planta clasificado por calidad, peso fresco de frutos de primera calidad, diámetro de la base del tallo, número de frutos de primera calidad. El diseño estadístico utilizado fue completamente al azar bifactorial con arreglo combinatorio; la unidad experimental estuvo formada por seis plantas, las cuales estuvieron sembradas en bolsas plásticas de 30 cm de alto x 30 cm de ancho, calibre 6, que sirvieron como contenedores del cultivo, a una distancia de 50 cm entre planta y 50 cm entre surco simple y 1 m entre surco doble. Las variables fueron analizadas estadísticamente a través de ANDEVAS y pruebas de medias y económicamente por su rentabilidad y relación beneficio/costo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Rendimiento de frutos de tomate en kg/planta y clasificados por calidad.

Esta variable se empezó a medir a partir del momento en que los primeros frutos alcanzaron la madurez adecuada para la venta, hasta el sexto racimo, debido a problemas de espacio dentro del invernadero en la parte alta.

Cuadro 1. Resumen de la comparación de medias individuales para el rendimiento de frutos de tomate en kg/planta clasificados por calidad.

Tratamiento	Media (kg/planta)	Grupo Tukey
7	5.118	A
8	5.090	A B
9	4.468	C
4	4.455	C
5	4.406	C
6	4.389	C
3	3.753	D
1	3.601	D
2	3.304	D

Los tratamientos con la misma letra de Tukey no presentan diferencias significativas.

Los resultados alcanzados muestran la importancia de modificar las concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva, durante los estados de desarrollo de la planta de tomate, pues los tratamientos que produjeron los mayores rendimientos fueron el tratamiento 7 con 5.118 kg/planta y el tratamiento 8 con 5.090 kg/planta, lo cual concuerda parcialmente con lo que sugiere la UNALM (16); que indica que la solución nutritiva en el cultivo de tomate debe ser modificada de acuerdo al estado de crecimiento y desarrollo de las plantas, aumentando la concentración de nitrógeno en los primeros 60 días y la concentración de potasio a partir de los 90 días hasta el final de la cosecha.

Los tratamientos 7 y 8 poseen la concentración de nitrógeno más elevada (250 ppm), esto provocó que las plantas tuvieran un rápido crecimiento vegetativo, lo que se traduce en mayor área foliar y mayor área fotosintética, aumentando el vigor de la planta y su rendimiento. Con relación al potasio, se comprobó que las plantas de tomate, requieren de concentraciones moderadas en el nivel de fructificación (250 – 300 ppm), pues este elemento juega un papel fundamental en el llenado de los frutos, remarcando la calidad de estos en el color, sabor, etc., debido a su participación en el desplazamiento de azúcares y en el equilibrio hídrico de la planta, el cual es demandado en las etapas más avanzadas de desarrollo del cultivo (4) (6).

A continuación se presenta el resumen de la prueba de medias de Dunnett. Esta se realizó para conocer cuales de los tratamientos producen diferencias significativas en relación al testigo.

Cuadro 2. Resumen de la prueba de Dunnett, para la variable rendimiento de frutos de tomate en kg/planta clasificados por calidad.

Tratamiento	Media	½ Comparadores ½	Significancia
7	5.118	1.404	*
8	5.090	1.376	*
9	4.468	0.754	*
4	4.455	0.741	*
5	4.406	0.692	*
6	4.389	0.675	*
3	3.753	0.039	NS
1	3.601	0.113	NS
2	3.304	0.410	NS

* = Existen diferencias significativas. Comparador Dunnett = 0.415, al 5 %.

Media del testigo = 3.714 kg/planta.

Según se aprecia en el cuadro 2, existen seis tratamientos que producen diferencias significativas en relación al testigo, los cuales son los que contienen 200 y 250 ppm de nitrógeno en la solución nutritiva. Estos resultados muestran la importancia de aumentar la concentración de dicho elemento en la fase vegetativa, para aumentar los rendimientos.

En la figura 1, se expone el porcentaje total de las categorías de clasificación del fruto de tomate que produjo cada tratamiento, en donde resalta que el tratamiento 8 fue el mayor (56.48%), siguiendo los tratamientos 7 y 9, con 53.27 y 52.78 % respectivamente. Cabe mencionar que estos tres tratamientos fueron los que tuvieron las mayores cantidades de nitrógeno en la solución nutritiva, volviendo a mostrar los beneficios de modificar los nutrientes a lo largo de las fases de desarrollo del cultivo.

Evaluación de diferentes concentraciones de nitrógeno y potasio en solución hidropónica en el tomate (Lycopersicon esculentum Mill.), híbrido Dominique, en condiciones de invernadero

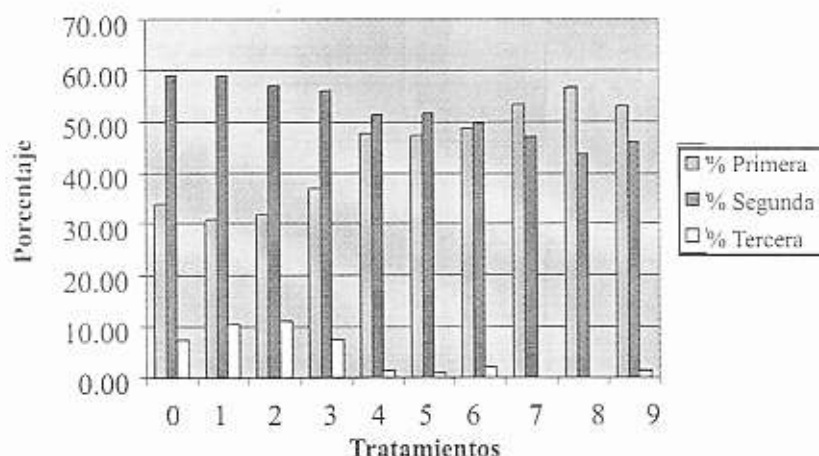


Figura 1. Porcentaje de frutos de primera, segunda y tercera calidad, según su tratamiento.

En la figura 2 se muestran los rendimientos promedio de cada tratamiento en kg/planta; Obsérvese como aumenta el rendimiento conforme se incrementa la concentración de nitrógeno, pero en el tratamiento 9, hay un descenso del mismo, que puede corresponder a un efecto tóxico o un desequilibrio entre los nutrientes (4)

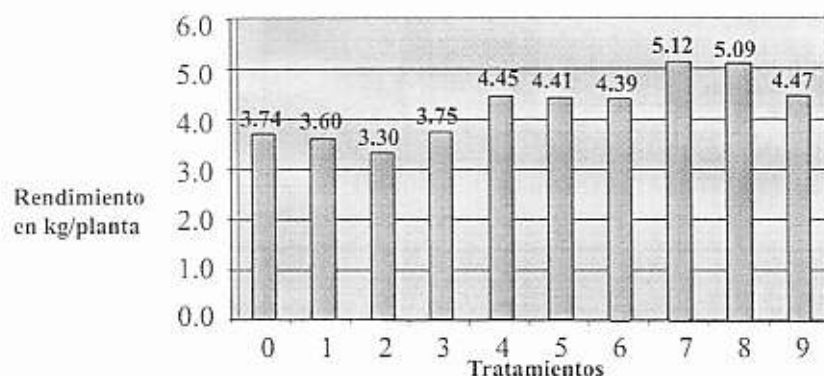


Figura 2. Rendimiento promedio de frutos de tomate (kg/planta), según tratamientos.

En figura 3, se observan los frutos que se obtuvieron de las plantas que fueron tratadas con altas concentraciones de nitrógeno y moderadas de potasio (T8) en la solución nutritiva, que al compararlas con el tratamiento testigo, el cual recibió bajas concentraciones de nitrógeno y potasio, las cuales no fueron modificadas durante el desarrollo y crecimiento de las plantas, observándose una diferencia en el tamaño de la fruta y obviamente en el rendimiento.



Figura 3. Comparación gráfica del tratamiento 8 y el tratamiento 0 (testigo).

b) Número de frutos de primera calidad.

Esta variable fue registrada al final del ensayo con los datos tomados del rendimiento en peso de frutos, obteniéndose el promedio de cada unidad experimental.

Cuadro 3.1 Resumen de la comparación de medias individuales para el número de frutos de primera calidad.

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
8	19	A
7	18	A
9	16	A
4	14	B
5	14	B
6	14	B
3	9	B C
1	8	C
2	7	C

Los tratamientos con la misma letra de Tukey no presentan diferencias significativas.

Los resultados obtenidos indican que los tratamientos 8, 7 y 9 presentan el mayor número de frutos de primera calidad respectivamente. Esto significa que aumentar las concentraciones de nitrógeno y potasio durante la fase de desarrollo vegetativo y fructificación, favorece la formación de frutos de primera calidad, (ver figura 4).

Los resultados de la prueba de Dunnett (cuadro 7), muestran que existen seis tratamientos que producen diferencias significativas contra el testigo, siendo los que poseen moderadas y altas concentraciones de nitrógeno y potasio. Esto refuerza los resultados obtenidos por otros autores, indicando que para mejorar los rendimientos del tomate, se deben modificar las concentraciones de los elementos más importantes en los diferentes niveles de nutrición y no mantener concentraciones constantes en todo el ciclo del cultivo (5) (10) (16) (19) (21).

Cuadro 4. Resumen de la prueba de Dunnett, para la variable número de frutos de primera calidad.

Tratamiento	Media	½ Comparadores ½	Significancia
8	19	10	*
7	18	9	*
9	16	7	*
4	14	5	*
5	14	5	*
6	14	5	*
3	9	0	NS
1	8	1	NS
2	7	2	NS

* = Existen diferencias significativas.

Comparador Dunnett = 2.62 al 5 %.

Media del testigo = 9.

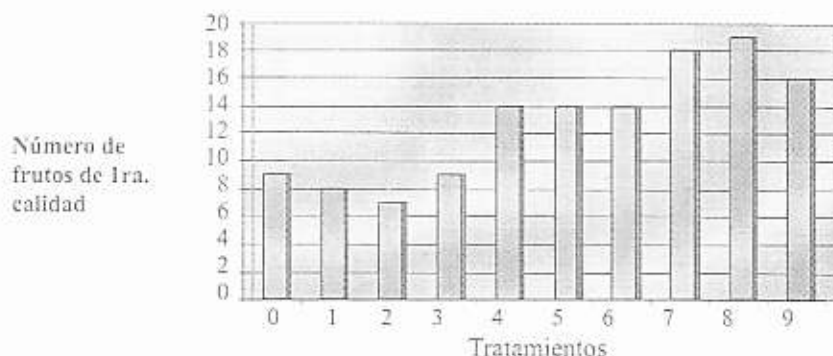


Figura 4. Número de frutos de primera calidad según tratamiento

Los resultados de las variables diámetro de la base del tallo y peso fresco de frutos de primera calidad no mostraron diferencias significativas.

Con relación a las variables que mostraron diferencias significativas, se puede decir que esta muy relacionado con el manejo agronómico de la planta de tomate, específicamente en las podas de brotes laterales y frutos, logrando que la planta distribuya uniformemente los compuestos elaborados en un solo eje y los frutos dejados por racimo, obteniéndose un mayor porcentaje de frutos de primera. Sin embargo, los resultados de la investigación muestran que además del manejo agronómico, también es importante aumentar las concentraciones de nitrógeno y potasio en los primeros 60 días y a partir de los 90 días, respectivamente.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Cuadro 5. Análisis de costos (Q/ha) en la evaluación de tres concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), híbrido Dominique.

RUBRO	Tratamiento									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Egresos										
Costos variables										
Labores Manuales	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00
Labores de transporte	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00
Insumos	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00
Fertilizantes	33613.50	36221.74	37141.04	38060.33	36798.26	37717.56	38636.85	37374.79	38294.09	39213.38
Costos fijos										
Costos Totales	233173.50	235781.74	236701.04	237620.33	236358.26	237277.56	238196.85	236934.79	237854.09	238773.38
Ingresos										
Ingreso Bruto	452863.13	431811.88	390860.58	462560.31	576083.75	569287.81	568125.00	675475.63	678128.44	587008.13
Ingreso Neto	219689.63	196030.14	160103.54	224939.98	339775.49	332010.25	330228.15	438540.84	440574.35	348234.75
RENTABILIDAD	94 %	82 %	66 %	94 %	144 %	140 %	139 %	186 %	186 %	146 %
RELACION B/C	1.94	1.83	1.68	1.95	2.44	2.40	2.39	2.85	2.85	2.46

Desde el punto de vista económico los resultados obtenidos muestran que los tratamientos 7 y 8 son los más factibles con relación a los demás tratamientos, ya que presentan la mayor rentabilidad y relación beneficio costo; al analizar la rentabilidad del tratamiento 7, es de 186 %, lo cual indica que por cada 100 quetzales invertidos se obtienen 186 quetzales de ganancia. Asimismo la relación B/C del tratamiento 7 que es 2.85, o sea, que por cada quetzal invertido se recupera 2.85 quetzales. Nuevamente se muestra la importancia de modificar las concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva durante el desarrollo de la planta de tomate.

Los resultados de la rentabilidad y la relación B/C indican que mantener concentraciones de 250 ppm de nitrógeno en el nivel vegetativo y 300 ppm de potasio en el nivel fructificación en la solución nutritiva, genera ingresos más altos para cubrir costos y gastos de una forma eficiente.

CONCLUSIONES

- En la fase de vegetativo la concentración de nitrógeno debe estar en el rango de 200 y 250 partes por millón.
- Durante la fructificación la concentración de potasio debe estar en el rango de 250 y 300 partes por millón.
- Manteniendo las concentraciones en 250 ppm de nitrógeno en la fase vegetativa y 300 ppm de potasio en la fase de fructificación en la solución nutritiva, se favorece la formación de frutos de primera calidad.
- Las concentraciones en partes por millón de nitrógeno y potasio más rentables para la producción de tomate de primera calidad bajo sistema hidropónico son: 250 en la fase vegetativa y 300 en fructificación respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener las concentraciones de nitrógeno entre 200 y 250 partes por millón en la solución nutritiva durante los primeros 50 días después del transplante.
- Mantener las concentraciones de potasio entre 250 y 300 partes por millón en la solución nutritiva a partir de los 70 días después del transplante
- Continuar con otras investigaciones modificando otros elementos como el fósforo, calcio, etc., para mejorar la respuesta del cultivo bajo diferentes condiciones.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Alarcón Vera, A.I.. 2001. Los cultivos hidropónicos de hortalizas extra tempranas (en línea). Murcia, España. Consultado 13 May. 2000. Disponible en http://antonioalarcon.blog.spot.com/?/2001_0225_AntonioAlarcon.htm
- 2.- Barrera, C; García, W; Estrada, C. 2000. Evaluación de cinco concentraciones de una solución nutritiva en cultivo hidropónico de chile pimiento *Capssicum annum*. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Maestría en Manejo Sostenible de suelo y agua. 22 p.
- 3.- Bautista, R. 1999. Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de lechuga *Lactuca sativa* L. en cultivo hidropónico, utilizando como sustrato arena y cascarilla de arroz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 57 p.
- 4.- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 163 p.
- 5.- Burguenio, H. 1999. La fertigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. 4 ed. México, Lar corporativo gráfico. v. 2, 72 p.
- 6.- Castellanos, JZ. 1997. Las curvas de acumulación nutrimental en los cultivos hortícolas y su importancia en los programas de fertigación. *In* Simposium internacional de ferti-irrigación (2., 1997, México). Memorias. México, INIFAP. 10 p.
- 7.- Castillo, C. 2001. La hidroponia como alternativa de producción vegetal (en línea). Maracaibo, Venezuela. Consultado 13 May. 2000. Disponible en <http://checastillo.tripod.com/hidroponia/cursoba.htm>
- 8.- Duran, J; Martínez, E; Navas, L. 1999. Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 10 p.

- 9.- Estrada Muy, R; González Ramírez, B; Álvarez Cajas, V; Barrientos García, M. 1998. Diseño y análisis de experimentos, curso precongreso. *In* Foro de estadística (2., 1998, Guatemala). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Centro de Estadística y Cálculo. 52 p.
- 10.- Etchevers, JD. 1997. Evaluación del estado nutrimental del suelo y de los cultivos ferti-irrigados. *In* Simposium internacional de fertirrigación (2., 1997, México). Memorias, México, INIFAP. 10 p.
- 11.- HAZERA, IS. 2002. Catálogo de semillas. Israel, REGASA. 1 CD.
- 12.- IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1977. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala, tomo 1, 833 p.
- 13.- INAFOR (Instituto Nacional Forestal, GT). 1983. Mapas de zonas de vida a nivel de reconocimiento. Guatemala. Instituto Geográfico Militar. Esc. 1:600,000.
- 14.- JUVER Alimentación, ES. 1999. El milagroso tomate (en línea). Revista Fruta Viva. Consultado 13 May. 2000. Disponible en <http://www.juver.com/nutricion/articulo/tomate.htm>.
- 15.- Robredo P; Quiroga M; Echazu, R. 2000. Análisis comparativo de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos en invernadero (en línea). Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de Salta. Consultado 13 May. 2000. Disponible en <http://g.unsa.edu.ar/asades/actas2000/02-13.html>.
- 16.- Rodríguez Delfín, A; Hoyos Rojas, M; Chang La Rosa, M. 2001. Soluciones nutritivas en hidroponía; formulación y preparación. Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. 99 p.
- 17.- Sampeiro Ruiz, G. 1997. Hidroponía básica; el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. México, Diana. 153 p.
- 18.- Sánchez Del C, F; Escalante R, E. 1981. Hidroponía, un sistema de producción. México, Universidad Autónoma Chapingo. 176 p.
- 19.- Universidad Nacional Agraria La Molina. 1996. Curso-taller internacional de hidroponía. Editor Alfredo Rodríguez Delfín. Lima, Perú, Mekanobooks. 393 p.
- 20.- Universidad Nacional Agraria La Molina. 2002. Boletines informativos (en línea). Perú. Consultado 13 May. 2000. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin10.htm>.
- 21.- Villareal, M *et al.* 1997. Nutrición balanceada en fertirrigación y su efecto en la producción y calidad de tomate. *In* Simposium internacional de fertirrigación (2., 1997, México). Memorias, México, INIFAP. 8 p.
- 22.- Zamora Salazar, MD. 2000. Efecto de dos tipos de poda en el cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill., híbrido Daniela, bajo condiciones de invernadero, San José Pinula, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, URL, Facultad de Ciencias Agrícolas. 34 p.

Abonos verdes: Una fuente de nitrógeno para la Agricultura Orgánica

*Eddi Alejandro Vanegas Chacón**

RESUMEN

Los abonos verdes *Calopogonium mucunoides* (Calopogonio), *Crotalaria juncea* (Crotalaria), *Cajanus cajan* (Gandul), *Stizolobium atterimum* (Mucuna) y *Leucaena leucocephala* (Leucaena) fueron bioquímicamente caracterizados y su potencial fertilizante evaluado mediante la técnica de "bolsas de descomposición", cuantificando la pérdida porcentual de materia seca y liberación de nitrógeno proveniente de su biodegradación a lo largo de 150 días en condiciones tropicales. El experimento se realizó en la localidad de Praia D'Anta, municipio de Araponga, Estado de Minas Gerais, Brasil. El área de estudio se caracteriza por un régimen medio anual de 1.320 mm de precipitación, temperatura máxima de 25,4 °C y mínima de 13,7 °C. La relación C/N no explicó la cinética de descomposición, los porcentajes de masa seca remanente se correlacionaron con la relación lignina+polifenoles/nitrógeno ($r = 0,88$), la Mucuna y el Gandul se caracterizaron como abonos de rápida descomposición, el Calopogonio y la crotalaria media y la leucaena lenta. La dinámica de liberación de nitrógeno cuantificada por el nitrógeno remanente se correlacionó con la relación lignina+polifenoles/nitrógeno ($r=0,91$) y la capacidad de los polifenoles en complexar proteína ($r=0,86$), el Gandul y el Calopogonio son abonos de rápida liberación, la Crotalaria y la Mucuna, media y la Leucaena baja.

Palabras clave: Abonos verdes, descomposición de materia orgánica, liberación de nitrógeno, polifenoles y complexación de proteína.

INTRODUCCIÓN

La zona de la “Mata Mineira” se caracteriza por topografía accidentada, suelos improductivos y con baja fertilidad natural, escenario que demanda la utilización de prácticas que aporten materia orgánica para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Entre otras, la incorporación de abonos verdes, parece ser la más promisorio y viable económicamente, resultados de investigaciones han comprobado su eficiencia en la cobertura y protección del suelo contra la erosión, en el mitigamiento de infestaciones de nemátodos y en la mejoría de la calidad física, química y biológica del suelo (Franco et al. 1994; Calegari et al. 1993). Los abonos verdes contribuyen tanto en corto plazo, manejo de la nutrición del suelo y suplemento de nutrientes para las plantas, cuanto en el largo plazo, mantenimiento de niveles adecuados de materia orgánica en el suelo. La biodegradación de los abonos verdes depende de su composición bioquímica (Martens, 2000); factores edáficos (Vargas & Hungria, 1997); y de las condiciones climáticas (Quemada & Cabrera, 1997). En agricultura orgánica, las leguminosas son utilizadas como adobos verdes constituyéndose en una fuente económica de nutrientes, principalmente nitrógeno, cuya eficiencia en la aportación de nutrientes puede incrementarse mediante selección genética o mezclas con otros tipos de plantas para liberar nutrientes en sincronía con la demanda de las culturas. La selección de los abonos verdes no está basada en criterios de relación directa, por ejemplo: abonos con mayores cantidades de nitrógeno, mineralizarán más rápido y en mayor cantidad (Palm & Sanchez, 1991). Características bioquímicas como la cantidad de lignina, polifenoles totales y su capacidad en complexar proteína son indicadores que rigen el proceso de descomposición y por tanto de liberación de nutrientes (Tian & Brussard, 1997). Abonos ricos en lignina y/o polifenoles son capaces de formar polímeros con varias formas de nitrógeno manteniendo a lo largo del tiempo niveles adecuados de materia orgánica en el suelo, actuando en la relación suelo – planta como fertilizantes de solubilidad controlada (Sanchez & Logan, 1992). Para utilizar eficientemente los abonos verdes como fertilizantes orgánicos se deben caracterizar bioquímicamente y conocer su dinámica de descomposi-

ción y liberación de nutrientes (Mafongoya, et al. 1998). Con base en la hipótesis que la composición bioquímica de los abonos verdes interfiere en su descomposición y consecuentemente en la liberación de nutrientes, se evaluó el proceso de descomposición y liberación de nitrógeno en varios abonos verdes, utilizados como fuentes de nitrógeno en plantaciones de café manejadas orgánicamente.

METODOLOGÍA

Los abonos verdes *Calopogonium mucimoides* (Calopogonio), *Crotalaria juncea* (Crotalaria), *Cajanus cajan* (Gandul), *Stizolobium atterimum* (Mucuna), y *Leucaena leucocephala* (Leucaena) fueron bioquímicamente caracterizados, sub-muestras fueran secas en horno con circulación de aire a 65°C durante 72 horas, molidas y pasadas por tamiz con diámetro de 2 mm. Se determinó la cantidad total de carbono, por oxidación húmeda (Yeomans & Bremner, 1988), nitrógeno total por el método de Kjeldahl, S por digestión nitroperclórica determinado en el extracto por espectrometría de emisión de plasma, Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica; K por espectrometría de emisión de llama y P por colorimetría (Murphy & Riley, 1982). Fibra en detergente neutro e ácido, hemicelulosa, celulosa y lignina, por el método de Van Soest (Silva & Queiroz, 2002); carbohidratos (Brink et al. 1960); polifenoles totales por la reacción de Follin-Denis y reactividad de los polifenoles por el método blue-dye labelled (Anderson & Ingram, 1989).

El proceso de descomposición y liberación de nitrógeno de los abonos fue cuantificado a lo largo de 150 días (meses de marzo a agosto de 2005), en la localidad de Praia D'Anta, municipio de Araponga, Estado de Minas Gerais, Brasil. El área está localizada a 790 m de altitud, con relieve suave ondulado, exposición solar fase sur, coordenadas 20° 38'47'' Sur, y 42° 32'30'' Oeste, con régimen medio anual de 1,320 mm de precipitación, temperatura máxima de 25,4°C y mínima de 13,7°C. El suelo dominante es el llamado Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Oxisol, ácido), cuyas características químicas se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características químicas del suelo de Praia D'Anta, Araponga, Minas Gerais, Brasil (Lima et al. 2005)

Table 1. Soil chemical characteristics of Praia D'Anta, Araponga, Minas Gerais Brasil (Lima et al. 2005)

Área	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	T	T	V	m	MO	P-rem
	A ₀			mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻¹			%		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹
Praia D'Anta	4.8	1.7	80	1.8	0.65	0.6	2.74	3.3	14	19	18	5	14.2

SB: suma de bases trocables; t: capacidad de intercambio catiónica efectiva; T: capacidad de intercambio catiónica a pH 7.0; V: Índice de saturación de bases; m: Índice de saturación de aluminio; MO: carbono orgánico*1,724-Walkley-Black; P-rem: fósforo remanente.

Los abonos verdes fueron plantados y colectados en el área experimental evaluando su descomposición de acuerdo con Verhoef, (1995). La masa de cada material equivalente a 100 g fue colocada dentro de bolsas de polietileno con dimensiones de 30 cm x 30 cm, y malla de 2 mm de diámetro, que fueron posicionadas debajo del área de goteo de las plantas de café y colectadas a los 15, 30, 60, 90, 120, e 150 días después de iniciado el experimento. Durante cada colecta, el material vegetal contenido en cada bolsa fue limpiado, secado en horno con circulación de aire a 65°C durante 72 horas y pesado. Después fue molido y pasado por tamiz de 2 mm de diámetro, cuatro submuestras fueron caracterizadas respecto al nitrógeno total, por el método de Kjeldahl. Tanto la pérdida de masa como el contenido de nitrógeno fueron cuantificados por diferencia en relación a la masa y contenido de nitrógeno inicial. Se utilizó el diseño experimental bloques al azar con 4 repeticiones, y para el análisis estadístico el esquema de parcelas subdivididas, en el cual los abonos verdes correspondieron a las parcelas y las evaluaciones en el tiempo a las subparcelas. El programa de computador SAEG fue utilizado para realizar análisis de variancia, pruebas de medias según Tukey y regresión no lineal de acuerdo con el modelo de descomposición y liberación de nutrientes de Wieder & Lang (1982):

$$MSR \text{ ou } NR = A * e^{k \cdot t} + (100 - A)$$

Donde:

MSR = Porcentaje de materia seca remanesciente;

NR = Porcentaje de nitrógeno remanesciente;

A = Compartimiento fácilmente descomponible o liberado;

(100-A) = Compartimiento recalcitrante;

k= Tasa constante de descomposición de la materia seca o de liberación de nitrógeno;

t= Tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los abonos verdes presentaron relaciones C/N < 20 y cantidades pequeñas de fósforo y azufre; por tanto, relaciones C/P y C/S muy altas, lo que indica la importancia de estos abonos como fuentes de nitrógeno orgánico. No obstante presentaron gran variación respecto a su contenido nutricional, siendo la Leucaena la que presentó mayor contenido de nitrógeno y menor relación C/N (Tabla 2).

Tabla 2. Características químicas (con base en la materia seca) de los abonos.

Table 2. Chemical characteristics (dry matter) of green manures.

Variable	Unidad	Calopogonio	Crotalaria	Mucuna	Leucaena	Gandul	Media	CV(%)
C	dag kg ⁻¹	46.29	46.85	43.10	44.28	48.04	45.71	4.36
N	dag kg ⁻¹	3.42	3.42	2.87	4.51	3.71	3.59	16.71
P	dag kg ⁻¹	0.22	0.19	0.19	0.21	0.29	0.22	18.74
S	dag kg ⁻¹	0.19	0.13	0.18	0.31	0.19	0.20	33.17
C/N		16.00	16.00	18.00	11.00	15.00	15.20	17.03
C/P		544.00	637.00	586.00	545.00	428.00	548.00	14.07
C/S		650.00	961.00	604.00	381.00	674.00	654.00	31.68
Ca	dag kg ⁻¹	1.11	0.81	1.09	1.54	0.68	1.05	31.70
Mg	dag kg ⁻¹	0.41	0.25	0.19	0.31	0.18	0.27	35.44
K	dag kg ⁻¹	1.04	1.36	1.04	1.57	1.50	1.30	19.27

dag kg⁻¹: decagramos por kilogramo = %

CV: coeficiente de variación entre los diferentes abonos verdes.

El análisis de fibra determinó que el Gandul, Leucaena y Gandul contienen las mayores cantidades de fibra insoluble en detergente neutro (celulosa, hemicelulosa y lignina), el Gandul, Calopogonio y Leucaena las cantidades de fibra insoluble en detergente ácido (lignocelulosa) y la Leucaena la mayor cantidad de lignina. El indicador de descomposición y liberación de nitrógeno fue establecido por la cantidad de polifenoles totales y capacidad de complexar proteína (Tabla 3). El abono verde con mayor recalcitrancia fue la Leucaena con 6,98% de polifenoles y de reactividad 114,93 $\mu\text{g mg}^{-1}$.

Tabla 3. Análisis bioquímica de los abonos y relación lignina, nitrógeno y polifenoles (con base en la materia seca).

Table 3. Biochemical analysis of green manures and rate of lignin, nitrogen and polyphenols (dry matter).

Variable	Unidad	Calopogonio	Crotalaria	Mucuna	Leucaena	Gandul	Media	CV (%)
FDN	%	65.16	65.88	69.37	69.02	70.01	67.89	3.25
FDA	%	54.89	48.84	51.16	54.59	58.70	53.64	7.05
HEM	%	10.28	17.03	18.21	14.43	11.31	14.25	24.27
CEL	%	40.03	35.99	36.73	27.01	39.00	35.75	14.42
LIG	%	13.59	12.35	12.32	26.87	18.45	16.72	37.15
Cag	%	5.47	6.10	6.75	4.93	5.77	5.80	11.75
CARB	%	1.80	2.46	2.77	3.96	4.17	3.03	33.27
POL	%	2.49	2.32	1.98	6.98	4.35	3.62	57.68
BSA	$\mu\text{g mg}^{-1}$	67.63	29.86	37.51	114.93	84.92	66.97	52.09
LIG/N		3.97	3.61	4.29	5.96	4.97	4.56	20.37
POL/N		0.73	0.68	0.69	1.55	1.17	0.96	40.05
LIG/POL		5.46	5.32	6.22	3.85	4.24	5.02	19.17
(LIG+POL)/N		4.70	4.29	4.98	7.51	6.15	5.53	23.65

FDN: fibra insoluble en detergente neutro; FDA: fibra insoluble en detergente ácido; HEM: hemicelulosa; CEL: celulosa; LIG: lignina; Cag: carbono soluble en agua; CARB: carbohidratos totales solubles; POL: polifenoles totales solubles; BSA: capacidad de los polifenoles en complexar proteína.

CV: coeficiente de variación entre los diferentes abonos verdes.



La biomasa remanente decreció para todos los abonos verdes, principalmente durante los primeros 15 días de descomposición (Se muestran solo algunos resultados, Figura 1). El análisis de regresión permitió estimar la vida media del proceso de descomposición de los abonos (descomposición del 50% de la materia seca inicial), identificando los siguientes comportamientos: vida media entre 21 y 27 días Mucuna y Gandul; entre 33 y 35 días Calopogonio y Leucaena; entre 42 y 70 días Crotalaria (Se muestran solo algunos resultados, Tabla 4).

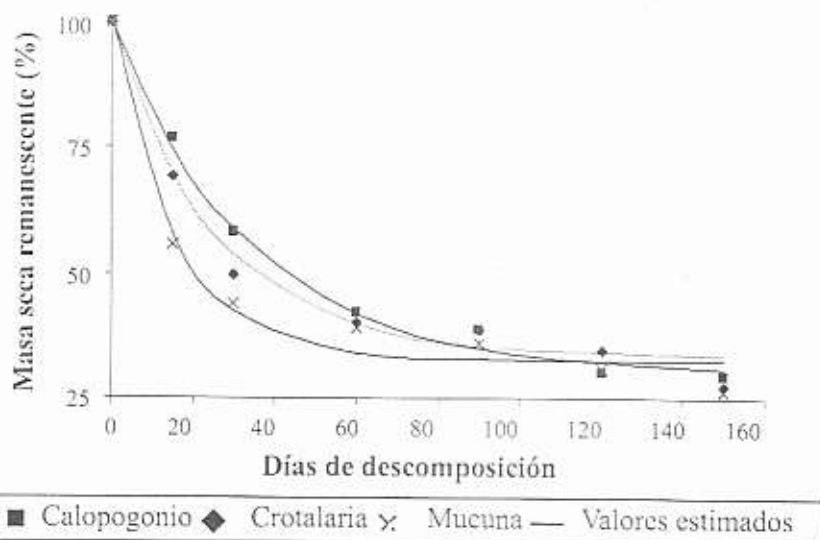


Figura 1. Materia seca remanente de Calopogonio, Crotalaria y Mucuna

Figure 1. Remained dry matter of Calopogonium, Crotalaria and Stizolobium

Tabla 4. Estimación de los parámetros, intervalos de confianza, coeficiente de determinación y vida media del proceso de descomposición de abonos verdes.

Table 4. Estimated parameters, truths intervals, determination coefficient and half life of the decomposition process in green manures.

Material	Parámetros estimados (1)	IC		R ²	t(1/2) días
		LI	LS		
Calopogonio	A= 66,49	59,40	73,57	0,97	33
	K= -0,040	- 0,057	- 0,023		
Crotalaria	A= 69,90	64,11	75,69	0,98	42
	K= -0,030	- 0,039	- 0,022		
Mucuna	A= 67,43	61,86	73,00	0,97	21
	K= - 0,065	- 0,091	- 0,039		

(1): Parámetros estimados significativos a 5% de probabilidad según la prueba de t; LI: Limite inferior; LS: Limite superior; R²: Coeficiente de determinación; t(1/2): vida media.

Correlaciones de Pearson entre los porcentajes de materia seca remanente y las características bioquímicas de los abonos verdes son presentadas en la Tabla 5. La relación C/N no explicó la cinética de descomposición de los abonos estudiados, este proceso fue explicado de mejor manera por las relaciones LIG/N; LIG+POL/N y capacidad de los polifenoles en complexar proteína (prueba del BSA).

Tabla 5. Correlaciones de Pearson entre los porcentajes de masa remanente y características bioquímicas de los abonos verdes.

Table 5. Pearson correlations among percentages of remained mass and biochemical characteristics of green manures.

% Masa	C/N	C/P	POL	BSA	LIG/N	POL/N	LIG/POL	(LIG-POL)/N
remanente	0,36**	0,50**	0,52**	0,86**	0,89**	0,83**	- 0,59**	0,88**

** Parámetros estimados significativos a 1% de probabilidad según la prueba de t

Los valores observados y estimados de liberación de nitrógeno para algunos abonos son presentados en la Figura 3, y los criterios de validación del análisis de regresión en la Tabla 6. Los abonos con vida media de liberación de nitrógeno de 8 a 15 días fue-

ron la Crotalaria, Gandul y el Calopogonio, de 25 a 45 la Mucuna y mayor de 150 la Leucaena. Los porcentajes de nitrógeno remanente se correlacionan con la relación $LIG+POL/N$ ($r = 0,91$) y capacidad de los polifenoles en complexar proteína ($r = 0,81$), resultados concordantes con las investigaciones de Mañongoya et al. (1998), que consideran la relación $LIG+POL/N$ como indicador de predicción de descomposición y liberación de nutrientes en abonos verdes.

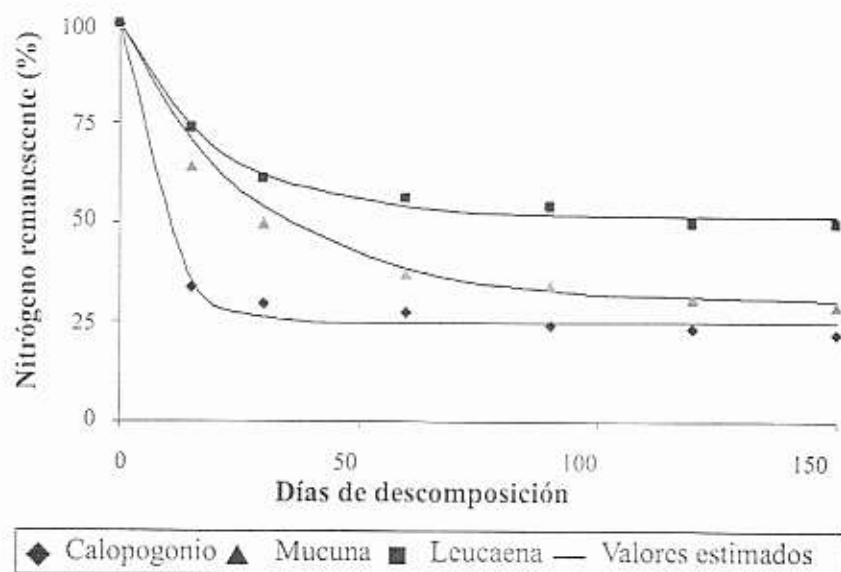


Figura 2. Porcentaje de Nitrógeno remanente.

Figure 2. Percentage of remained nitrogen.

Tabla 6. Parámetros estimados, coeficiente de determinación, y vida media para la liberación de nitrógeno en abonos verdes.

Table 6. Estimated parameters, determination coefficient and half life of the nitrogen release in green manures.

Material	Nitrogênio			
	Parâmetros		R ²	t (1/2) días
	A	K		
Calopogonio	75.27	- 0.130	0.99	8
Mucuna	69.87	- 0.036	0.97	35
Leucaena	48.47	- 0.051	0.98	>150

(1): Parâmetros estimados significativos a 5% de probabilidade según la prueba de t; R²: Coeficiente de determinación; t(1/2): vida media.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El Calopogonio y el Gandul presentan las mayores cantidades de celulosa y la Leucaena la mayor cantidad de nitrogênio y lignina.
- Las relaciones polifenoles/nitrogênio, lignina+polifenoles/nitrogênio y la capacidad de los polifenoles en complexar proteína son los indicadores que explican el proceso de biodegradación (descomposición y liberación) de las formas orgánicas del nitrogênio.
- La Mucuna, el Calopogonio y el Gandul son abonos verdes que pueden incorporarse directamente al suelo, ya la Crotalaria y la Leucaena pueden utilizarse para realizar mezclas con otro tipo de abonos orgánicos para compostagen.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. Wallingford: CAB Internacional, 1989. 171 p.: il.
- BRINK, R.H., DUBACH, P., LYNCH, D.L. Measurement of carbohydrates in soil hydrolyzates with anthrone. *Soil Science*, Baltimore, v.89, n.3, p 157-166, march. 1960.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.; WILDNER, L. et al. *Adubação verde no sul do Brasil*. Rio de Janeiro: Desktop, 1993. 346 p.: il.
- KERN, J.S. & JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmosphere carbon levels. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.57, n.1, p 200-210, january-february, 1993.
- KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.:il.
- 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. Londrina PR. **Resumos Expandidos...** Londrina PR: CBP-D Café: EBA; Embrapa:Epamig; IAC; Iapar; Incaper; Pesagro-Rio: Sarc/MAPA. Ufla e Ufv, 2005. CD. s.p.

MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biology & Biochemistry**, Great Britain, v.32, n.3, p.361-369, march. 2000.

MOFONGOYA, P.L.; GILLER, K.E.; PALM, C.A. Decomposition and nitrogen release patterns of tree pruning and litter. **Agroforestry Systems**, The Netherlands, v. 38, n XX, p. 77-97, xx. 1998.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras:UFLA., 2002. p. 191-241.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Analytical Chemical Acta**, Amsterdam, v.27, n.1, p.31-36, january. 1962.

PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology & Biochemistry**, Great Britain, v.23, n.1, p.83-88, january.1991.

QUEMADA, M. & CABRERA, M.L. Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied clover residue. **Plant and Soil**, The Netherlands, v. 189, n.1, p.127-137, february. 1997.

RIBEIRO JUNIOR, J.I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV., 2001. 301 p.

SANCHEZ, P. A. & LOGAN, T.J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R. & SANCHEZ, P.A., eds. **Myths and science of soil in the tropics**. Madison: Soil Science Society of America, 1992. p. 35-46, (Special publication. n.29).

SILVA, D.J. & QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235 p.,il.

TIAN, G. & BRUSSARD, L. Mulching effect of plant residues of chemically contrasting compositions on soil organic matter content and cation exchange capacity. **Communication in soil science and plant analysis**, Monticello, v.28, n.17&18, p.1603-1611, october. 1997.

VARGAS, M.A. & HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC., 1997. 524 p.,il.

VERHOEF, H.A. Litterbag method. In: ALEF.K. & NANNIPIERE, P. **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. New York: Academic Press, 1995. 576 p.,il.

WIEDER, R.K. & LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Ithaca, v.63, n.6, p.1636-1642, december. 1982.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, Monticello, v.19, n13, p. 1467-1476, october. 1988.

*Dr. en Nutrición Vegetal. Profesor titular de la FAUSAC.

**Producción comunal sostenible de
pinabete (*Abies guatemalensis* Re-
hder) para el mejoramiento del bi-
enestar rural y la conservación bi-
ológica en el altiplano occidental
de Guatemala**

José Pablo Prado Córdova

Uffe Strandby Andersen

Johannes Kollmann

Marten Sørensen

Charlotte Nielsen

Juan José Castillo

Álvaro Hernández

RESUMEN

Esta investigación trata del cultivo de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) con fines de producción de árboles navideños, a fin de disminuir la extracción ilícita y contribuir a que haya un aumento en los ingresos económicos de las comunidades del altiplano occidental de Guatemala. El objetivo general del estudio es mejorar nuestro conocimiento sobre las relaciones de causa y efecto entre esta especie, el ecosistema del cual forma parte y las comunidades rurales que habitan y han interactuado históricamente con estos bosques. Para ello se ha desarrollado un enfoque interdisciplinario con métodos de la Ecología, las ciencias forestales y las ciencias sociales.

INTRODUCCIÓN

La conservación de especies animales y vegetales mediante su crianza y cultivo recibe cada vez más atención como herramienta para reducir las presiones antropogénicas sobre los recursos naturales en las regiones tropicales y subtropicales. Esta estrategia presupone que unas adecuadas políticas de oferta pueden abastecer eficientemente los mercados locales con bienes sustitutos que reemplacen recursos ilícitamente colectados, lo cual supondrá a largo plazo un desincentivo económico para la extracción de poblaciones animales y vegetales silvestres. Sin embargo, es necesario un análisis exhaustivo de las limitantes ecológicas y de los agentes económicos involucrados en el proceso antes de hacer recomendaciones para la formulación adecuada de políticas públicas en esta materia. Mientras más conocimiento disponible se tenga sobre la ecología poblacional de las especies de interés y sobre los requisitos técnicos para su cultivo sostenible, habrá mejores oportunidades para obtener resultados satisfactorios tanto para la conservación de la base natural como para el desarrollo rural. Por otro lado, las condiciones locales para el efectivo cumplimiento de la ley y el tamaño de la demanda para los productos obtenidos son factores limitantes que deben ser apropiadamente ponderados para prever los resultados más probables a largo plazo.

El pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) es una especie en peligro, endémica en los bosques montanos altos de México y el norte de Centroamérica (Veblen, 1976; Farjon *et al.*, 1993; Islebe, 1995; Islebe *et al.*, 1995; Strandby *et al.*, 2006), y fue seleccionada como estudio de caso para este proyecto de investigación. A pesar de que su conservación es considerada prioritaria (Apéndice I de CITES), las poblaciones remanentes aún son amenazadas por la extracción ilícita de ramillas para la elaboración de adornos navideños. El proyecto partió de la posibilidad de cultivar esta especie con fines de producción de árboles navideños, lo que permitiría la disminución de la

extracción ilícita y un aumento en los ingresos económicos de las comunidades locales. El objetivo general ha sido mejorar nuestro conocimiento sobre las relaciones de causa y efecto entre esta especie, el ecosistema del cual forma parte y las comunidades rurales que habitan e han interactuado históricamente con estos bosques. Para lo cual, se ha desarrollado un enfoque interdisciplinario en el que se han utilizado complementariamente métodos de la Ecología, las ciencias forestales y las ciencias sociales para desarrollar una aproximación multidisciplinaria del estado actual de la especie, sus requerimientos para la regeneración natural, las implicaciones de la variación de procedencias para su cultivo, la existencia de plagas y enemigos naturales, la calidad de las características de su follaje relevantes para la comercialización, y el papel que desempeña en las estrategias rurales de subsistencia.

Planteamiento del problema

Los avances recientes en Ecología y Sistemática Vegetal han mejorado significativamente nuestro entendimiento de los procesos asociados a la extinción de las especies (Hunter, 2002). Las poblaciones en peligro quedan atrapadas en una vorágine de extinción, en la que los efectos negativos de la endogamia y la deriva génica combinados con la mortalidad estocástica conducen a la desaparición de poblaciones locales (Ellstrand & Elam, 1993; Lamont *et al.*, 1993; Young *et al.* 1996; Fischer & Matthies, 1998). La falta de dispersión en antiguas metapoblaciones y los cambios a gran escala en la utilización del paisaje empujan a las especies en peligro al borde de la extinción (Ouborg & van Treuren, 1995; Oostermeijer *et al.*, 1998). Aunque ha habido progresos significativos en cuanto a la identificación de los factores clave de la extinción, la definición de poblaciones mínimas viables, y el establecimiento de prácticas adecuadas de conservación y manejo, la desaparición de un

gran número de especies continúa, especialmente, en las regiones tropicales y subtropicales (Tilman *et al.*, 1994).

Una de las razones de los fracasos de estos esfuerzos de conservación es que la mayoría de las medidas prácticas han sido desarrolladas en países desarrollados, donde precisamente se lleva a cabo la mayor parte de la investigación (Sjögren-Gulve, 2000). El modelo de la protección estricta en parques nacionales y reservas naturales, puede funcionar en estos países, pero es problemático en países empobrecidos, donde las comunidades locales subsisten de la explotación de los recursos naturales.

Un ejemplo de este problema es el caso de *A. guatemalensis*, que tiene una larga historia de explotación como madera valiosa y para la producción de carbón, cuyas poblaciones remanentes se restringen a algunas cadenas montañosas remotas con medidas de protección más o menos eficientes como los parques nacionales o las reservas naturales. Sin embargo, la eficiencia de estas reservas no es óptima debido a la extracción ilegal (Cardenal *et al.*, 1997). Más recientemente, la situación se ha deteriorado a causa del uso que se hace de esta especie en la decoración navideña (Brosnan, 2002). De aquí que los árboles jóvenes y las ramas de los árboles adultos sean ilegalmente cosechados en grandes cantidades para la comercialización del follaje aún en bosques protegidos. De hecho, la demanda nacional estimada para 2005 fue de cerca de 110,000 árboles elaborados con ramas ilegalmente extraídas de rodales naturales, es decir una proporción de mercado del 46% (Strandby *et al.*, 2008b). Otras coníferas no son aceptadas de la misma forma para este fin ya que carecen de la belleza y el aroma de esta especie, con lo cual se plantea como una alternativa prometedora para evitar su extinción el abastecimiento del mercado nacional con grandes cantidades de follaje sosteniblemente producido para reducir el interés por la extracción ilícita en áreas protegidas.

En virtud de lo anterior, se ha abordado una estrategia de conservación a partir de la lógica del uso sostenible. Es decir, a través de la promoción de plantaciones de árboles de Navidad que eventualmente puedan desincentivar la extracción ilícita. Sin embargo, este enfoque presupone que una política de oferta orientada al suministro del mercado nacional con árboles cultivados sosteniblemente reduciría las posibilidades para el mercado ilegal, lo que no resulta necesariamente cierto en contextos caracterizados por debilidades institucionales y en los que un reducido sector intermediario regula la dinámica de precios. En cualquier caso, es necesario contar con suficiente información preliminar que permita una ponderación equilibrada de los efectos de una estrategia de conservación mediante el cultivo de una especie endémica vulnerable y sus repercusiones económicas en contextos de pobreza rural.

La problematización del fenómeno investigado se ha planteado en términos de las siguientes preguntas de investigación:

- i. ¿Cuánta regeneración natural de *A. guatemalensis* ocurre en los bosques remanentes del altiplano occidental de Guatemala?
- ii. ¿Existen diferencias en la germinación y crecimiento de plántulas de distintas procedencias cuando son cultivadas en bancales?
- iii. ¿Cuáles son las principales plagas y sus enemigos naturales en las plantaciones de *A. guatemalensis*?
- iv. ¿Existe variación con respecto a la calidad del follaje de *A. guatemalensis*?
- v. ¿Cuál es el papel de *A. guatemalensis* en las economías campesinas localizadas en su área de distribución natural? ¿Qué otros bienes y servicios son relevantes para las agriculturas campesinas locales?

Objetivos

Objetivo general

Establecer las relaciones de causa y efecto que explican las interacciones entre los ecosistemas forestales de *A. guatemalensis* en el altiplano occidental de Guatemala y las comunidades locales con el objeto de evaluar las condiciones para el desarrollo de una estrategia de conservación mediante el cultivo de la especie.

Objetivos específicos

- i. Describir el estado actual y el uso de *A. guatemalensis*.
- ii. Investigar los niveles actuales de regeneración así como las interacciones ecológicas entre *A. guatemalensis* y su hábitat natural.
- iii. Establecer un ensayo de procedencias y evaluar su crecimiento, fenología, calidad de follaje, incidencia de plagas y presencia de enemigos naturales.
- iv. Caracterizar los sistemas rurales de subsistencia ubicados en el área de distribución natural de la especie y evaluar la importancia de su utilización para las estrategias locales de sustento en las economías campesinas.

Hipótesis

- i. El abastecimiento oportuno en cantidades y calidades adecuadas de los productos de las plantaciones comunales supondrá un desincentivo para la extracción ilícita de ramillas de pinabete por cuanto suministrará cantidades apropiadamente ajustadas a las necesidades locales de comercialización. En consecuencia, se disminuirá significativamente la presión a la que los rodales

naturales de *A. guatemalensis* están sometidos en la actualidad. La viabilidad de estos ecosistemas forestales supondrá efectos positivos para la vida de los campesinos locales, quienes, por un lado, aumentarán sus ingresos económicos mejorando sus capacidades de acumulación y, por el otro, disfrutarán un equilibrio hidrológico a largo plazo; además de fortalecer sus sistemas de gestión territorial a partir de una actividad que pretende combinar objetivos de comercialización y conservación de la base natural.

- ii. Tomando en cuenta que las condiciones de sitio juegan un papel fundamental para la plena expresión del genotipo, existen sitios superiores en términos de las tasas de crecimiento y floración durante la fase de bancal. Aquellos sitios con las mejores características son los candidatos obvios para ser convertidos en fuentes semilleras, contribuyendo así a las economías campesinas locales, siempre y cuando se pongan en práctica modelos de manejo adecuados. Además, es factible controlar las plagas existentes mediante el uso de sus enemigos naturales y es probable cosechar ramillas de alta calidad tanto en plantaciones como en rodales naturales.
- iii. Los sistemas de agricultura campesina del altiplano occidental de Guatemala han incorporado tanto beneficios directos como indirectos del uso de *A. guatemalensis*. Sin embargo, las políticas orientadas por el mercado tales como la creciente demanda de árboles de Navidad han orillado esta especie al borde de la extinción. Los activos para el sustento rural sólo pueden ser sosteniblemente ampliados en este contexto a través del fortalecimiento de las capacidades locales para la gestión del territorio y la puesta en práctica de unas reglas y regulaciones locales adecuadas, ajustando la legislación nacional a estos contextos.

Métodos

El proyecto ha echado mano de un enfoque interdisciplinario que permitió el abordaje de los temas más relevantes asociados a la especie de interés así como a las comunidades rurales presentes en el área de estudio (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo para la regeneración natural de *A. guatemalensis*

El primer paso fue una revisión exhaustiva del estado actual de la especie, con énfasis en su uso y conservación. Los factores limitantes para la regeneración natural fueron investigados mediante el establecimiento de parcelas experimentales en seis sitios a lo largo del área de distribución natural de la especie, donde se realizó un esfuerzo de monitoreo de la emergencia de plántulas y de la sobrevivencia de trasplantes, así como una caracterización de las condiciones de hábitat incluyendo clima, condiciones edáficas, vegetación, apertura del estrato superior del dosel, pendiente y exposición (Kollman *et al.*, en imprenta). Adicionalmente, el grado de variabilidad intraespecífica fue abordado a través del establecimiento de un ensayo de procedencias utilizando semillas colectadas a nivel nacional, en el que se monitoreó el crecimiento y el brote de yemas apicales.

Dado el potencial de la especie para la producción de árboles de Navidad, también se evaluó la calidad del follaje mediante la realización de un experimento de desecación en el que fueron analizadas las características de retención de acículas. Así mismo, se efectuó un diagnóstico de plagas mediante la realización de visitas de campo, lo que permitió establecer información preliminar sobre la abundancia relativa de las mismas así como de sus enemigos naturales. En cuanto al componente socioeconómico, se realizó un diagnóstico exhaustivo en 12 comunidades de la zona investigada (Figura 2) que fueron seleccionadas con base en su relativa proximidad a las áreas relictas de la especie. Los instrumentos de encuesta fueron elaborados siguiendo los modelos propuestos por la Red sobre Pobreza y Medio Ambiente (PEN, por sus siglas en inglés), los cuales incluyen preguntas sobre las comunidades y los hogares en las que además se incluye el elemento de periodicidad de las prácticas de colecta forestal. Este aspecto fue capturado visitando los hogares seleccionados 3 ó 4 veces a lo largo de 2006. Estas entrevistas fueron realizadas por encuestadores locales bajo la supervisión de estudiantes de EPSA y profesores de la FAUSAC. Finalmente, el concepto de conservación mediante

*Producción comunal sostenible de pinabete (Abies guatemalensis Rehder)
para el mejoramiento del bienestar rural y la conservación biológica
en el altiplano occidental de Guatemala*

cultivo fue revisado para la formulación de recomendaciones para el trabajo de campo y futuros proyectos de investigación.

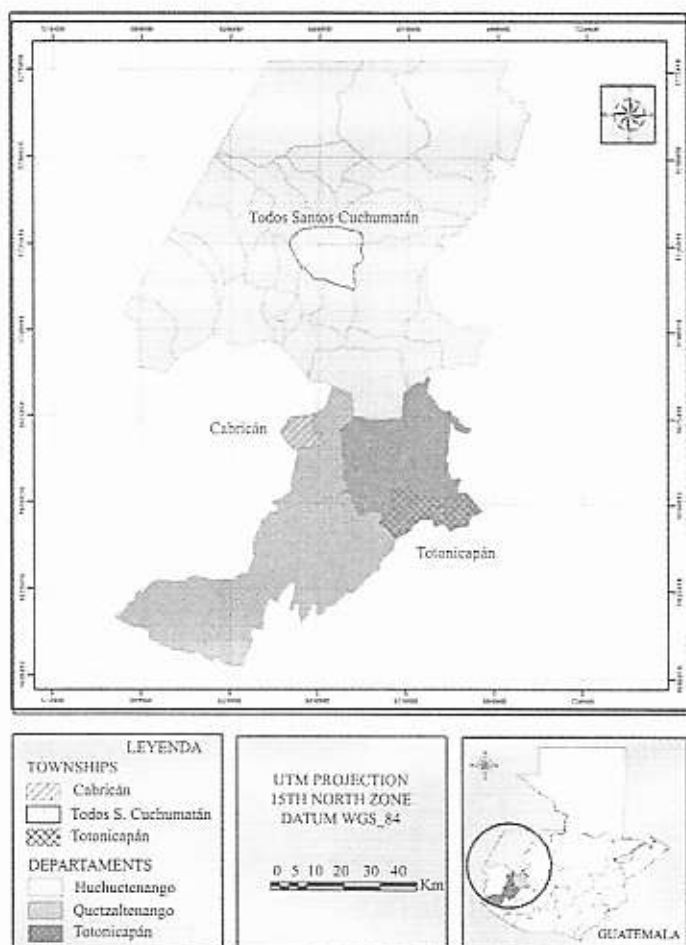


Figura 2. Municipios encuestados
Elaborada por Jonathan Reynoso

Resultados y discusión

Estado actual de la especie

Los hallazgos con respecto a la regeneración natural de *A. guatemalensis* sugieren un patrón disperso y en parches; con limitaciones de hábitat y disponibilidad de semilla, y un hábito de reclutamiento positivamente correlacionado con la altitud ($r^2=0.96$, $P=0.0006$) (Figura 3) y el pH del suelo ($r^2=0.63$, $P=0.06$), y negativamente con el estrato arbóreo del dosel ($r^2=0.57$, $P=0.08$) y el índice de área de hojas ($r^2=0.58$, $P=0.077$). La cobertura del estrato arbóreo superior del dosel mostró una correlación positiva con la emergencia de plántulas ($r^2=0.70$, $P=0.039$) y el estrato arbóreo inferior mostró una correlación negativa con la sobrevivencia de los transplantes ($r^2=0.72$, $P=0.033$), mientras que el pH del suelo y la concentración de bases mostraron una correlación positiva con la sobrevivencia de transplantes ($r^2=0.58-0.74$, $P=0.029-0.08$).

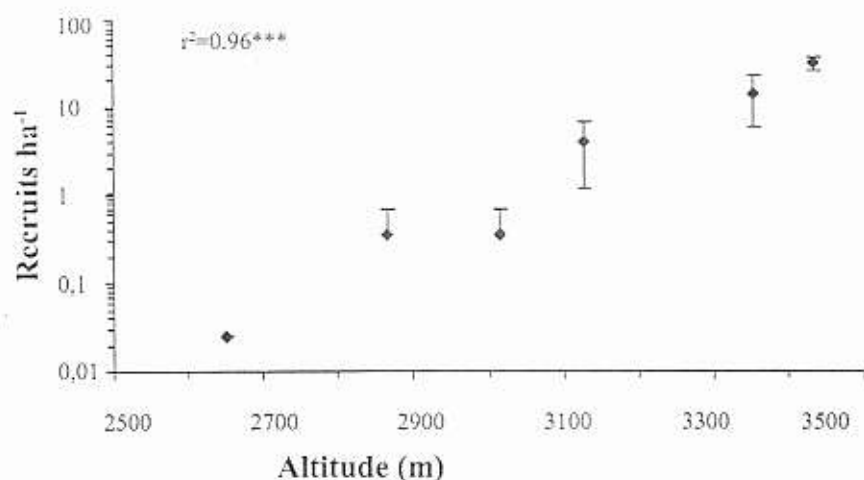


Figura 3. Correlación entre hábito de reclutamiento y altitud

Las relaciones halladas entre la altitud, el estrato arbóreo del dosel y el reclutamiento de *A. guatemalensis* sugieren un gradiente ecológico que hace que los rodales localizados a mayores alturas y con un patrón de distribución en parches ofrezcan las mejores condiciones para la regeneración natural. Aún cuando un dosel cerrado y la abundancia de broza favorecen la emergencia de las plántulas, estos factores obstaculizan la sobrevivencia en etapas posteriores de crecimiento debido a la falta de luz. Sin embargo, aún los rodales más densamente poblados no presentan la estructura esperada en una población creciendo geométricamente, lo que sugiere que las poblaciones actuales se encuentran en una fase estable o aún en declinación. El grado en que estas condiciones acercan esta especie al umbral mínimo de viabilidad poblacional habrá de dilucidarse con futuros proyectos de investigación. No obstante, los esquemas actuales de uso de la tierra en la zona han resultado insuficientes para contribuir a la recuperación de esta población, lo que, en muchos casos, corresponde a la falta de integración entre las estrategias locales de subsistencia de los asentamientos humanos y las políticas nacionales para la conservación de esta especie.

Procedencias y calidad de ramillas

El ensayo de procedencias indica la existencia de genotipos superiores cuya germinación, crecimiento de plántulas y sobrevivencia sugiere su potencial incorporación a los programas nacionales de establecimiento de fuentes semilleras (Figura 4) (Strandby *et al.*, 2008a). Así mismo, un análisis de agrupamiento permitió establecer la existencia de conglomerados diferenciados como se muestra en la Figura 5.

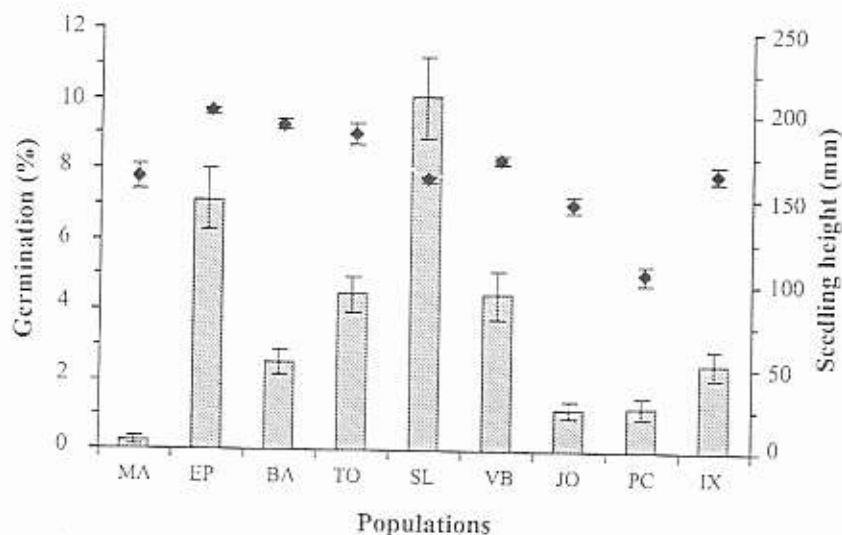


Figura 4. Germinación y altura de plántulas de las procedencias evaluadas¹

¹ MA: Mataquescuintla; EP: El Edén Palestina; BA: Buenos Aires; TO: Totonicapán; SL: Sibilia La Laguna; VB: San Vicente Buenabaj; JO: San José Ojetenam; PC: Puerta del Cielo; IX: Ixchiguan.

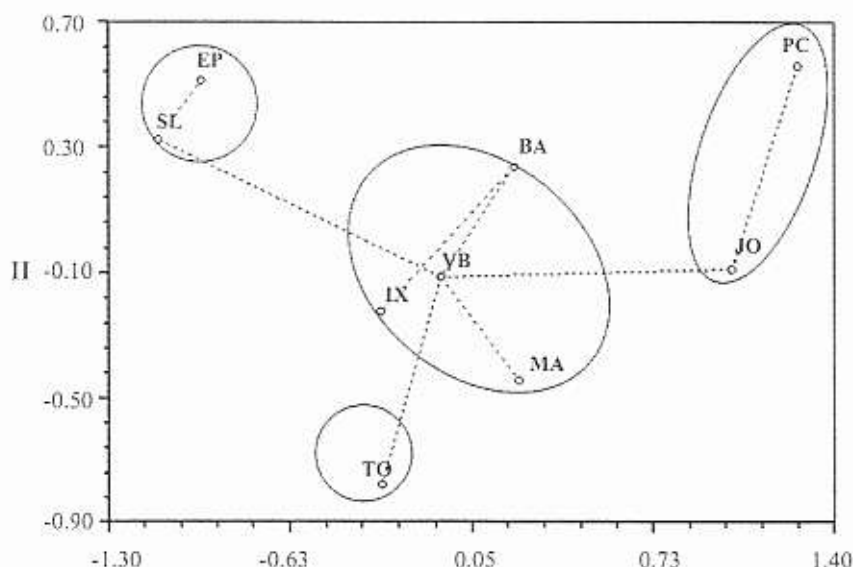


Figura 5. Análisis de conglomerados

El experimento sobre la calidad del follaje mostró que la especie estudiada presenta características sobresalientes, lo que sugiere buenas posibilidades para la comercialización, siempre y cuando las regulaciones CITES sean seguidas apropiadamente.

Condiciones para el control biológico

Un áfido del género *Mindarus* fue encontrado tanto en rodales naturales como en plantaciones y, dado el estado de plaga de esta especie en Norteamérica, podrían esperarse problemas similares en Guatemala. No obstante, también se encontraron algunos enemigos naturales de esta especie que pueden ser utilizados en estrategias futuras de control biológico. La variedad de enemigos naturales encontrados en el diagnósti-

co entomológico se muestra en la Figura 6, en la que se comparan las cantidades encontradas en treinta ramas nuevas en plantaciones (P), viveros (N) y rodales naturales (F).

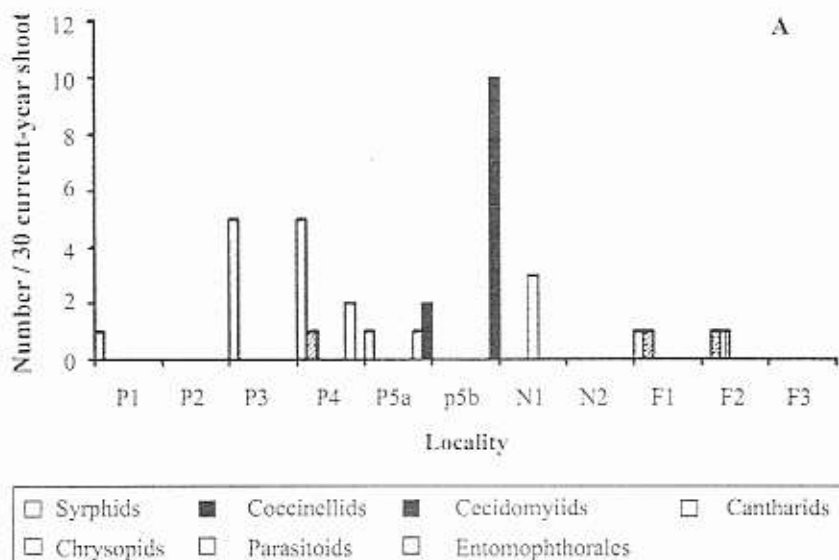


Figura 6. Enemigos naturales encontrados en el diagnóstico entomológico realizado en plantaciones de *A. guatemalensis*¹

Estrategias de vida

El diagnóstico socioeconómico llevado a cabo en el área de distribución natural de la especie en hogares aleatoriamente seleccionados reveló una importancia relativamente modesta de la especie en las estrategias locales de subsistencia, principalmente debido a la prohibición existente sobre su extracción en bosques naturales. Sin embargo, varias iniciativas productivas

1 P1, P2: Palestina de los Altos; P3: Cabricán; P4: Zunil; P5a/b: Teepán; N1: Totonicapán; N2: Cabricán; F1: Ixehiguan; F2: Concepción Huista; F3: Todos Santos Cuchumatán

fueron encontradas y dadas las posibilidades de comercialización a nivel nacional parecen existir suficientes condiciones para mejorar la función socioeconómica de la especie en las economías campesinas locales. Además, se constató la existencia de varios bienes y servicios forestales asociados a estos ecosistemas, tales como la extracción de leña y broza (Figura 7), la protección de manantiales, y el mantenimiento de la estructura del suelo para la prevención de deslaves cuya importancia resulta esencial en los sistemas campesinos de subsistencia del altiplano guatemalteco, lo que permite ampliar nuestra comprensión a propósito de la relación entre el hábitat de la especie y las prácticas agrícolas campesinas.

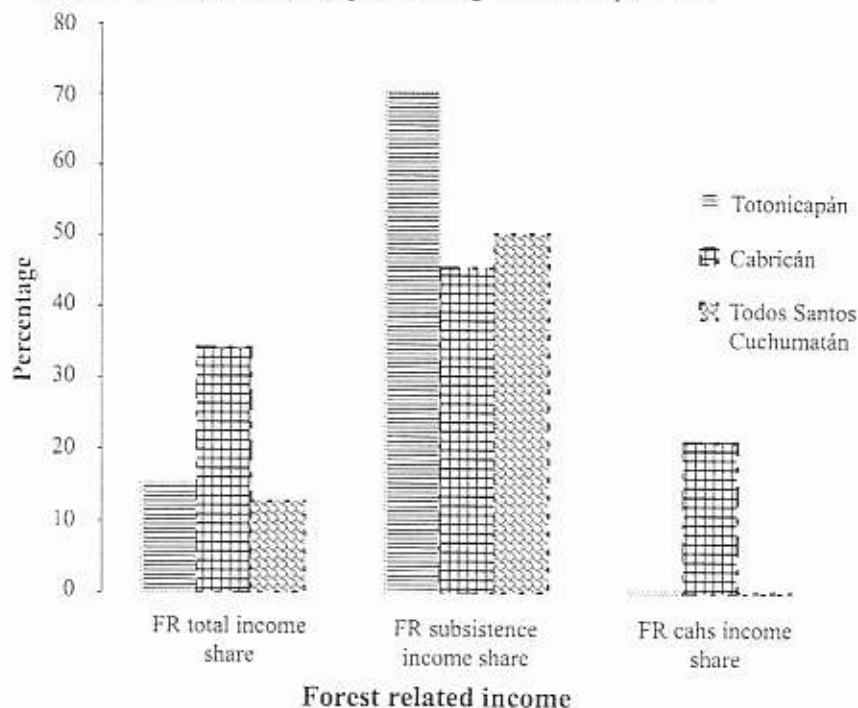


Figura 7. Importancia relativa de los ingresos forestales en tres municipios del altiplano occidental de Guatemala

CONCLUSIONES

- A pesar de los esfuerzos locales de conservación, especialmente aquéllos promovidos por comunidades rurales, la tasa actual de regeneración natural de *A. guatemalensis* parece acercarse a un umbral crítico, principalmente en aquellas áreas donde los disturbios antropogénicos han alcanzado niveles máximos. Los patrones de reclutamiento están limitados por la viabilidad de las semillas y el gradiente encontrado sugiere que las poblaciones que se encuentran en los límites inferiores de elevación están particularmente amenazadas.
- El crecimiento durante las primeras etapas de desarrollo vegetal mostró un desempeño diferenciado sugiriendo alta variación entre las poblaciones remanentes cuando son cultivadas bajo condiciones similares. Dada la creciente importancia económica de la especie como un cultivo ornamental, es crucial mantener la base de poblaciones silvestres que permita el mejoramiento.
- Un áfido del género *Mindarus* resultó ser la plaga más común y más ampliamente distribuida tanto en rodales naturales y viveros como en plantaciones de *A. guatemalensis*. Sin embargo, también fueron encontrados varios depredadores afidófagos, principalmente hongos entomopatógenos, larvas de sirfidos y antocóridos; lo que sugiere buenas condiciones naturales para el establecimiento de un programa de control biológico a gran escala.
- Aún cuando ningún ingreso forestal directo pudo ser atribuido a *A. guatemalensis* en las comunidades investigadas, se constató la existencia de un vínculo importante entre el uso de la broza y los ingresos para la subsistencia. Por lo tanto, la investigación desarrollada para el componente socioeconómico fortalece la idea de promover la extracción a pequeña escala de este producto forestal en rodales naturales con el objeto de mejorar las condiciones naturales para la regeneración y asegurar flujos estables de un insumo muy importante para las economías campesinas locales. Aunque la función socioeconómica de esta especie puede considerarse como de menor importancia en términos de la erradicación de la pobreza rural, el ecosistema del que forma parte juega un papel determinante en el mantenimiento de los mecanismos de subsistencia local, y por lo tanto contribuye a evitar el empeoramiento de las condiciones de vulnerabilidad socioeconómica en el área.

RECOMENDACIONES

- Dar seguimiento a los ensayos de procedencia establecidos en el departamento de Totonicapán.
- Organizar eventos de devolución de los resultados de la investigación en las comunidades que participaron en el proyecto.
- Ampliar el enfoque de investigación para incluir las dinámicas territoriales existentes en el área.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar su agradecimiento a los estudiantes del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía: Pedro Chacón, Gamaliel Martínez, Adalberto López, Juan Carlos Funes, David Mendieta y Jonathan Reynoso por su valioso aporte durante la fase de campo, así como al Consejo Danés para la Investigación sobre Desarrollo que a través del Proyecto No. 91160 financió esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Brosnan, G. (2002). *Christmas poachers kill off rare Guatemalan fir*. Reuters News Service, Guatemala: December 27, 2002. Available from several Internet sites e.g. <http://www.planetark.org/dailynewsstory.cfm/newsid/19210/story.htm>; http://www.cnn.com/news/wirestories/2002/12/27/12312002/reu_49277.asp; <http://www1.chinadaily.com.cn/news/16/2002-12-25/991111.html>; descargado el 27/11/2003.
2. Cardenal, L.; López, E.; Albacete, C.; Sánchez, G. (1997). *Los Bosques de Totonicapán*. Fundación Paz Verde, Guatemala.
3. Ellstrand, N.C.; Elam, D.R. (1993). Population genetic consequences of small population size: Implications for plant conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 217-242.
4. Farjon, A. (1990). *Pinaceae – Drawings and Descriptions of the Genera Abies, Cedrus, Keteleeria, Nothotsuga, Tsuga, Cathaya, Pseudotsuga, Larix and Picea*. Koeltz Scientific Books, Königstein.
5. Fischer M.; Matthies D. (1998). Effects of population size on performance in the rare plant *Gentianella germanica*. *Journal of Ecology* 86: 195-204.
6. Hunter, M.L. (2002). *Fundamentals of Conservation Biology*. Blackwell Science, Malden, Mass.
7. Islebe, G.A. (1995). Will Guatemala's *Juniperus-Pinus* forests survive. *Environmental Conservation*.

8. Islebe, G.A.; Velázquez, A.; Cleef, A.M. (1995). High elevation coniferous vegetation of Guatemala – A phytosociological approach. *Vegetatio* 116: 7–23.
9. Kollmann, J.; Prado Córdova, J.P.; Munk Andersen, R. (En imprenta). Factors limiting regeneration of an endangered conifer in the highlands of Guatemala. *Journal for Nature Conservation*.
10. Lamont, B.B.; Klinkhamer P.G.L.; Witkowski, E.T.F. (1993). Population fragmentation may reduce fertility to zero in *Banksia goodii* – a demonstration of the Allee effect. *Oecologia* 94: 446–450.
11. Oostermeijer, J.G.B.; Luijten, S.H.; Krenova, Z.V.; Den Nijs, J.C.M. (1998). Relationship between population and habitat characteristics and reproduction of the rare *Gentiana pneumonanthe* L. *Conservation Biology* 12: 1042–1053.
12. Ouborg, N.J.; Van Treuren, R. (1995). Variation in fitness-related characters among small and large populations of *Salvia pratensis*. *Journal of Ecology* 83: 369–380.
13. Sjögren-Gulve, P. (2000) *The Use of Population Viability Analyses in Conservation Planning*. Munksgaard, Copenhagen.
14. Strandby Andersen, U.; Prado Córdova, J.P.; Sorensen, M.; Kollmann, J. (2006). Conservation and utilisation of *Abies guatemalensis* Rehder (Pinaceae) – an endangered endemic conifer in Central America. *Biodiversity and Conservation*, 15, 3131–3151.
15. Strandby Andersen, U.; Prado Córdova, J.P.; Bräuner Nielsen, U.; Kollmann, J. (2008a). Provenance variation in germination and seedling growth of *Abies guatemalensis* Rehder. *Forest Ecology and Management*, 55, 1831–1840.
16. Strandby Andersen, U.; Prado Córdova, J.P.; Bräuner Nielsen, U.; Nielsen, C.; Sorensen, M.; Smith Olsen, C.; Kollmann, J. (2008b). Conservation through utilization: a case study of the Vulnerable *Abies guatemalensis* in Guatemala. *Oryx* 42 (2) 206–213.
17. Strandby Andersen, U.; Smith Olsen, C. (En prepración). The importance of understanding trade when designing effective conservation policy – the case of the endangered *Abies guatemalensis* Rehder. *Biological Conservation*.
18. Tilman, D.; May, R.M.; Lehman, C.L.; Novak, M.A. (1994). Habitat destruction and the extinction debt. *Nature* 371: 65–66.
19. Veblen, T.T. (1976). The urgent need for forest conservation in highland Guatemala. *Biological Conservation* 9: 141–154.
20. Young A.; Boyle T.; Brown T. (1996). The population genetic consequences of habitat fragmentation in plants. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 413–418.

**Análisis por espectrometría de
isovaltrato en extracto de hoja y raíz
de valeriana (*Valeriana prionophylla*
Standl.) cultivadas en dos
localidades diferentes de Guatemala**

Davinson Riquett,
Sully Cruz**,
Armando Cáceres**,
Vicente Martínez*****



RESUMEN

Valeriana prionophylla, valeriana, es una planta nativa de Guatemala utilizada medicinalmente para tratar el insomnio. Esta planta presenta en su composición metabolitos activos con propiedades inductoras del sueño similares a *Valeriana officinalis*, especie ampliamente estudiada y que aparece en varias farmacopeas del mundo. El presente trabajo comprendió la cosecha de hojas y raíces de *V. prionophylla* de dos localidades de Guatemala. A las muestras colectadas se les realizó una extracción con diclorometano y una posterior separación por cromatografía en columna utilizando como fase estacionaria sílica gel y como fase móvil una mezcla de tolueno-acetato de etilo 75:25. A las fracciones colectadas en la separación en columna, se les corrió un barrido en un espectrofotómetro ultravioleta visible contra un estándar de isovaltrato, con el fin de detectar la presencia del mismo. En este estudio se comprobó la presencia de isovaltrato en hojas y raíces de *V. prionophylla*, notándose que hay un mayor contenido en la raíz.

Descriptores: plantas medicinales, *Valeriana prionophylla*, valepotriatos, isovaltrato.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto de investigación tiene como propósito contribuir al conocimiento, con base científica, sobre la composición química de la especie, en cuanto a la identificación de isovaltrato presente en raíces y hojas de la especie *Valeriana prionophylla*, por la técnicas de cromatografía en capa fina y espectrofotometría de absorción ultravioleta visible.

Valeriana prionophylla es una especie nativa de Mesoamérica, utilizada en Guatemala para tratar el insomnio al igual que *Valeriana officinalis*, la cual se encuentra en varias farmacopeas del mundo y cuenta con muchos estudios sobre su composición química, en especial de los compuestos químicos llamados Valepotriatos a quienes se le atribuye gran responsabilidad en la actividad farmacológica. En la actualidad, se desea equipar el uso *V. prionophylla* con relación a *V. officinalis*, pero se tiene pocos estudios dedicados a su composición química por lo que se hace necesario realizar estudios fitoquímicos de la especie, entre los cuales podemos incluir la detección de Isovaltrato por cromatografía en capa fina y espectrofotometría de absorción ultravioleta visible; a la vez compararlos entre materiales cultivados en dos localidades diferentes de Guatemala.

Valeriana prionophylla posee pocos estudios realizados, tanto en relación con su actividad farmacológica como con su composición química. Entre los estudios realizados se encuentra la "Evaluación de la actividad biocida e identificación química de valepotriatos en tres plantas reconocidas popularmente en Guatemala como valeriana", reportó que la raíz pulverizada de *V. prionophylla* originaria de Nebaj, Quiché, contiene mayor cantidad de valepotriatos, de ácidos hidroxivalerénico y valerénico que *V. officinalis* proveniente de España; estos compuestos forman parte del complejo químico responsable de la actividad farmacológica

de *V. officinalis*, por lo que se deduce que son los que harían parte también de la actividad farmacológica de *V. prionophylla* ⁽¹⁾. Otro estudio, muestra que *V. prionophylla* contiene prinsepiol, 8-hidroxipinoresinol-4'-O- α -D-glucopiranosido y 8-hidroxipinoresinol, moléculas que han sido aisladas de las raíces de *V. officinalis* y a quienes se les ha atribuido parte del efecto farmacológico; los ensayos farmacológicos realizados muestran que el extracto alcohólico ejerce mejor efecto que cada uno de los componentes administrados por separado. Este estudio indica que el extracto etanólico ejerce actividad vaso relajante y antioxidante ⁽²⁾. Otro estudio realizados confirma la presencia de diversos Valtratos (acevaltrato, didrovaltrato, valtrato, isovaltrato) en las raíces, constituyentes igualmente aislados de *V. officinalis* y que forman parte del conjunto de moléculas responsables de la acción farmacológica ⁽³⁾. Un estudio de caracterización de *V. prionophylla*, nos describe que en el análisis fotoquímico realizado se encontró ácido valerénico y un producto de degradación de baldrrinal ⁽⁴⁾.

MÉTODOS

Muestra: Material cultivado en las localidades de Cerro Raxquim en Totonicapán (3,221 msnm.; 14°49'59", 91°23'31") y Concepción en San Marcos, Guatemala.

Métodos:

Recopilación bibliográfica: Se realizó una revisión bibliográfica en las diferentes fuentes y bases de datos acerca de *Valeriana prionophylla*.

Obtención de la muestra:

Identificación: Se realizó comparando las muestras con un patrón de la planta herborizada del herbario de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Cosecha: Se cosechó material sano tanto de la raíz como de la hoja. Las partes cosechadas se depositaron en una bolsa limpia e identificada.

Poscosecha: Se lavaron las partes cosechadas por separado con agua potable y se dejó escurrir el material para eliminar el exceso de agua.

Secado y almacenamiento: Se colocó el material en bandejas, en lugar ventilado, sin exposición directa a los rayos del sol. Tanto las hojas como las raíces se almacenaron enteras en bolsas plásticas, limpias e identificadas.

Tamizado y molienda: Las hojas fueron pasadas por tamiz, obteniéndose un tamaño entre 0.5 – 2.0 cm. Las raíces se cortaron en trozos de entre 0.5 – 2.5 cm utilizando tijeras de jardín. Una vez realizado este procedimiento se procedió a la determinación de la humedad de las muestras.

Determinación del contenido de humedad: En una balanza de humedad, se determinó un valor inicial del contenido de humedad de las muestras, luego de tener este valor inicial se procedió a secar nuevamente la muestra a 35 °C por 30 minutos en un horno de desecación, como se muestra en las figuras 10 y 11. Después de este secado, se procedió a determinar la humedad final de las muestras, para proceder de inmediato a la extracción.

Técnica de separación por Cromatografía en Capa Fina:

Para asegurar que el disolvente a utilizar en el proceso de extracción por maceración fuese el correcto, se preparó un micro extracto y se corrió una Cromatografía en Capa Fina de cada una de las muestras a analizar, igualmente se corrió una muestra de polvo de *Valeriana officinalis* y de estándar de isovaltrato. Inicialmente se trataron 0.5 g de cada una de las muestras con 5 mL de diclorometano calentando a 40 °C por 5 minutos.

Luego del calentamiento se filtró y el residuo se lavó con 2 mL de diclorometano. Los extractos obtenidos se combinaron y se evaporaron hasta sequedad. Al residuo obtenido en la evaporación, se le agregó 0.2 mL de acetato de etilo. De esta solución se aplicaron 10 mmL en una placa cromatográfica de silica gel; la fase móvil utilizada fue una mezcla de tolueno-acetato de etilo (75:25). Para el revelado del cromatograma se utilizó una mezcla de ácido clorhídrico-ácido acético glacial (8:2) asperjado sobre la placa y calentado posteriormente a 110 °C por 10 minutos ⁽⁵⁾, luego del calentamiento se revisó la placa cromatográfica tanto a la luz visible como a la luz ultravioleta para detectar todos los puntos que aparecieron.

Técnica de extracción por maceración: En un macerador, previamente lavado, se colocó la planta fraccionada, en el caso de las hojas tamizadas y en el caso de las raíces troceadas. Al recipiente se le agregó el disolvente extractor el cual consistió en una mezcla de Tolueno-Acetato de etilo 75:25. El proceso de maceración se dejó por 48 horas. Al final del proceso, se filtro el extracto obtenido por papel filtro y se colectó en erlenmeyers limpios e identificados.

Técnica de separación por cromatografía en columna: Los extractos obtenidos de la maceración, fueron sometidos a una separación por cromatografía en columna. 5 mL de cada uno de los extractos se hicieron pasar por una columna de vidrio empacada con silica gel, utilizando como fase móvil una mezcla de Tolueno-Acetato de etilo (75:25). De cada una de las corridas cromatográficas en columna realizadas a los extractos se obtienen una serie de fracciones, las cuales se colectan ya sea especificando un volumen o por la diferenciación en el color. A cada una de las fracciones se les realiza una corrida cromatográfica en capa fina, con el fin de visualizar semejanzas entre algunas fracciones y combinarlas según las mimas.

Determinación de Isovaltrato por espectrofotometría de absorción ultravioleta visible: Cada una de las fracciones finales se sometió a un análisis espectrofotométrico con el fin de determinar la presencia de isovaltrato.

RESULTADOS

Determinación del contenido de humedad.

En la tabla 1 del anexo, se describen los resultados de los contenidos de humedad de las muestras antes y después de ser sometidas a secado en horno de desecación.

Técnica de separación por cromatografía en capa fina.

En el revelado se pudo apreciar que el punto o la mancha y el R_f correspondiente al estándar de isovaltrato, correspondió a todas las muestras corridas incluida *V. officinalis*. En la figura 1 del anexo podemos observar el revelado de la placa cromatográfica.

Técnica de extracción por maceración.

En la tabla 2 del anexo se muestran los detalles de pesos de muestras y cantidad de disolvente utilizado para la extracción.

Técnica de separación por cromatografía en columna.

Los extractos obtenidos de la maceración, fueron sometidos a una separación por cromatografía en columna. De cada una de las corridas cromatográficas en columna realizadas a los extractos se obtuvieron una serie de fracciones, las cuales fueron colectadas por la diferenciación en el color, la que fue muy evidente. A cada una de las fracciones se le hizo una corrida cromatográfica en capa fina, para visualizar semejanzas entre algunas fracciones y se mezclaron según las mimas.

Técnica de determinación cualitativa por espectrofotometría de absorción ultravioleta/visible.

La determinación espectrofotométrica se hizo realizando un barrido a cada una de las muestras a analizar, en un rango comprendido entre 200 y 700 nanómetros (nm) en un espectrofotómetro UV/VIS. Inicialmente se corrió un blanco en el espectro de trabajo con disolvente (mezcla de tolueno-acetato de etilo 75:25). Las muestras obtenidas de las fracciones del extracto de las hojas de ambas localidades, fueron diluidas 1:25 utilizando el disolvente antes descrito. Las muestras obtenidas de las fracciones del extracto de las raíces no hubo necesidad de diluirlas. Luego de correr las muestras, se compararon los espectros obtenidos y los resultados de este análisis se describen en las tablas 3 y 4 del anexo.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo realizado sobre modelos de *V. prionophylla* muestra diversos aspectos en cuanto a la detección de isovaltrato en cromatografía en capa fina y por espectrofotometría de absorción ultravioleta visible, los cuales permiten establecer relaciones comparativas cualitativas con respecto a la especie de referencia que es *V. officinalis*. En la fase previa, donde se realizó una micra extracción de las muestras vegetales con diclorometano y una corrida por cromatografía en capa fina de los residuos obtenidos, se comprobó que este es un disolvente que logra extraer los valepotriatos de forma eficiente. Al efectuar el proceso de obtención de los extractos por maceración, se observó que los extractos de las hojas presentaban una coloración azul verdosa oscura, en cambio los extractos de las raíces eran amarillo pálido. Con respecto a la separación por cromatografía en columna aplicada a cada uno de los extractos obtenidos,

es preciso señalar que hubo una verdadera separación perceptible por capas de colores que se notaban a simple vista, las cuales fueron el punto de medida en la obtención de las diversas fracciones obtenidas. Estas fracciones se analizaron por cromatografía en capa fina, con el objeto de detectar en cuales de ellas se encontraba presente el compuesto isovaltrato, y además para poder mezclar algunas fracciones entre sí por semejanza en los perfiles cromatográficos obtenidos. Al realizar un análisis detallado de las placas cromatográficas en capa fina, se observa que se encuentran presentes otros componentes, que aunque como no se corrió ningún otro estándar además de isovaltrato, al comparar con el cromatograma reportado en la literatura para *V. officinalis*, se evidencia la presencia de ácidos valerénicos, valtrato y accevaltrato. Al efectuar las corridas espectrofotométricas, se detectó la presencia de isovaltrato en todas las muestras a una longitud de onda de 284 ± 2 nm, sin embargo esta resultó más notoria en las muestras de raíces, donde la absorción marcó un valor alto en la escala del espectro. Se corrió un estándar de isovaltrato para corroborar la identidad del mismo en las muestras. También en todas las corridas por cromatografía en capa fina se aplicó el estándar de isovaltrato, y en todas ellas se evidenció la presencia de este componente. Al analizar los resultados de las lecturas espectrofotométricas (Tablas 3 y 4), se observa que los valores de absorbancia de las raíces son aproximadamente 10 veces mayores que los valores obtenidos para las hojas, lo que comprueba que las raíces contienen mayor cantidad de isovaltrato que las hojas. El esquema propuesto para la extracción y separación de isovaltrato en las muestras vegetales brindó resultados satisfactorios, ya que se obtuvieron fracciones muy simples en las cuales se pudo detectar la presencia de isovaltrato tanto como por cromatografía en capa fina como por espectrofotometría de absorción ultravioleta visible.

CONCLUSIONES

- Las muestras analizadas de hojas y raíces de *V. prionophylla* de ambas localidades (San Marcos y Totonicapán) tienen presente Isovaltrato, al igual que la muestra en polvo de *V. officinalis*.
- Las raíces contienen mayor cantidad de Isovaltrato que las hojas, según los datos obtenidos por espectrofotometría de absorción ultravioleta visible.
- Además de Isovaltrato, podemos evidenciar la presencia de valtrato, acevaltrato y ácidos valerénicos en las muestras vegetales.
- El solvente extractor utilizado (diclorometano), logró extraer el compuesto de interés de este trabajo, que fue el isovaltrato.
- La fase móvil utilizada, tanto en la separación por capa fina como en cromatografía en columna, logró purificar el extracto en distintas fracciones obtenidas, todas ellas con un porcentaje distinto de Isovaltrato.
- Utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción ultravioleta visible, se logra la identificación de Isovaltrato a una longitud de onda de 284 ± 2 nm.
- La presencia de isovaltrato y de otros valepotriatos, justifican el uso equiparable de *V. prionophylla* como planta medicinal utilizadas en trastornos del sueño, al igual que la especie de referencia que es *V. officinalis*.

REFERENCIAS

1. Cruz A. Evaluación de la actividad biocida e identificación química de Valepotriatos en tres plantas reconocidas popularmente en Guatemala como Valeriana. Guatemala; Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2005. 46 pp.
2. Piccinelli A. et al. New Lignans from the roots of Valeriana prionophylla with Antioxidative and Vasorelaxant Activities. Journal of Natural Products. 2004. Volume 67, Number 7, pp 1135-1140.
3. Chavadej S. Further investigations of valepotriates in the valerianaceae. Pharm Weekbl (SCI ED) 74: 167 – 168. 1985.
4. De la Cruz B. Caracterización de cinco extractos de plantas medicinales nativas de Guatemala, validadas científicamente. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2,005. p. 42-44.
5. Wagner, H., Bladt, S. Plant Drug Analysis. A Thin Layer Chromatography Atlas. Second edition. 2001. p. 341-361.

* Licenciado en Química y Farmacia, E-mail: driquet@hotmail.com Tel: 502+56413633.

** Master en Producción y Uso de Plantas Medicinales. Facultad de CCQQ y Farmacia.

*** Licenciado en Química Biológica. Facultad de CCQQ y Farmacia.

**** Ing. Agr. Msc. Vicente Martínez, Profesor Titular de la Facultad de Agronomía.

ANEXO (figuras y tablas)

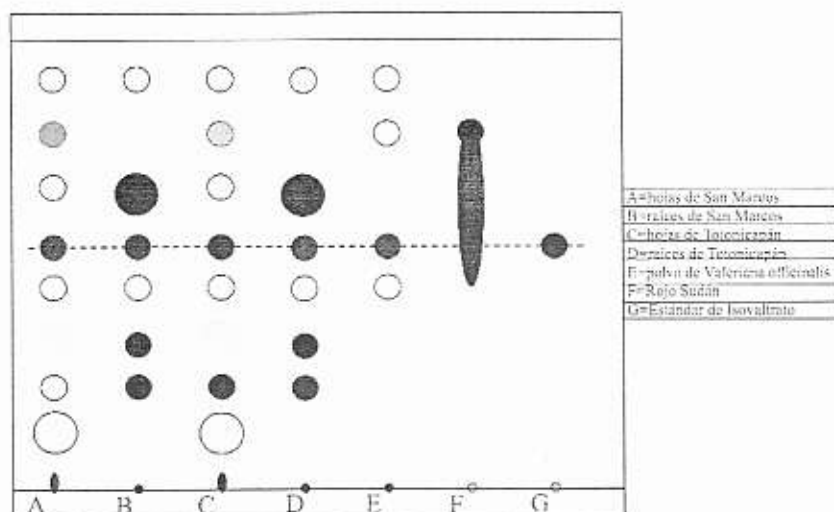


Figura 1. Interpretación del cromatograma revelado de *V. prionophylla*

Muestra Inicial	Peso inicial de muestra (g)	Peso final de muestra (g)	Porcentaje de humedad (%)
Hojas (San Marcos)	1.006	0.863	14.21
Raíz (San Marcos)	1.002	0.864	13.69
Hojas (Totonicapán)	1.001	0.876	12.40
Raíz (Totonicapán)	1.005	0.886	11.84
Muestra Final (después del secado a 35°C por 30 minutos)	Peso inicial de muestra (g)	Peso final de muestra (g)	Porcentaje de humedad (%)
Hojas (San Marcos)	1.008	0.906	10.12
Raíz (San Marcos)	1.031	0.912	11.54
Hojas (Totonicapán)	1.007	0.908	9.83
Raíz (Totonicapán)	1.032	0.935	9.40

Tabla 1. Valores de humedad de las muestras de *V. prionophylla*

Análisis por espectrometría de isoaltrato en extracto de hoja y raíz de valeriana (Valeriana prionophylla Standl.) cultivadas en dos localidades diferentes de Guatemala

Muestra	Cantidad de muestra (g)	Cantidad de disolvente (mL)
Hojas (San Marcos)	10.066	100
Raíz (San Marcos)	10.0206	50
Hojas (Totonicapán)	10.0068	100
Raíz (Totonicapán)	10.0562	50

Tabla 2. Relación peso de muestra volumen de disolvente en la obtención de los extractos de *V. prionophylla*

Muestra	Longitudes de onda de mayor absorción ± 2 (nm)
#1 Hojas San Marcos	282, 414, 670
#2 Raíces San Marcos	285
#3 Hojas Totonicapán	282, 415, 670
#4 Raíces Totonicapán	283

Tabla 3. Longitudes de onda de mayor absorción

Muestra	Fracción	284 ± 2 nm	414 ± 2 nm	670 ± 2 nm
#1 Hojas San Marcos	1	—	0.15466	—
	2	0.11917	0.41998	0.18361
	3	—	1.03210	0.43257
	4	0.15265	0.23374	—
	5	7.2183E-2	4.0841E-2	—
	6	4.1270E-2	9.1691E-3	—
	7	6.1987E-2	—	1.3738E-3
#2 Raíces San Marcos	1	2.60970	—	—
	2	0.54518	—	—
#3 Hojas Totonicapán	1	0.10666	0.14433	6.2674E-2
	2	8.7773E-2	2.3424E-2	—
#4 Raíces Totonicapán	1	1.16130	—	—
	2	2.38810	—	2.8248E-3
	3	0.56457	—	—

Tabla 4. Relación de valores de absorbancia por fracciones obtenidas de *V. prionophylla*

Análisis del ciclón tropical STAN en la cuenca del río Coyolate

*Juan Carlos Fuentes Montepeque**
*Elfego Odvin Orozco Fuentes***



RESUMEN

En la república de Guatemala se estima un área total de 4470 km² susceptibles a ser inundadas, siendo la vertiente del océano Pacífico la que presenta la mayor ocurrencia de eventos (60 %). Eventos como el ciclón tropical Stan, presentaron características de intensidad baja a moderada pero de prolongada duración, provocando la saturación de los suelos, disminuyendo su capacidad de almacenamiento y aumentando el volumen de escorrentía superficial, lo que repercutió directamente en la formación de crecidas, desbordamiento de ríos e inundaciones. En lo que respecta a los niveles de alerta se plantean 3, en donde se considera la lluvia acumulada en los días previos al evento (de vital importancia debido a la saturación de los suelos), intensidades de lluvia y niveles en el río Coyolate. Además, se sugiere el monitoreo y almacenamiento constantes de niveles en los ríos Cristóbal y Pantalcón en los respectivos puentes. Para lograr lo anterior, es indispensable fortalecer la participación comunitaria e involucrar a todos los actores en la cuenca, tanto de entidades privadas como del Estado, con el objetivo de elevar la eficiencia del sistema de alerta temprana lo cual se reflejaría en la disminución de la vulnerabilidad de la población.

PALABRAS CLAVES: crecida, inundación, ciclón, estación hidrométrica, pluviograma.

INTRODUCCIÓN

El ciclón tropical Stan ocurrido durante Octubre del año 2005, tuvo efectos drásticos en gran parte del territorio nacional, en lo que concierne al altiplano fueron comunes los fenómenos de erosión en remoción en masa (deslaves, derrumbes, solifluxiones, deslizamientos, etc), mientras que en la parte baja de las vertientes (en especial la vertiente del océano Pacífico) ocurrieron desbordamiento de ríos e inundaciones, trayendo consigo efectos a la infraestructura, vivienda y actividades productivas. Anteriormente, en el año 1998 el ciclón tropical Mitch tuvo efectos similares a los de Stan, sin embargo, la región más afectada por este fenómeno fue la vertiente del Golfo de Honduras. Debido a lo anterior, ha surgido la necesidad de la revisión y actualización de los sistemas de alerta temprana, cuyo objetivo principal es alertar a la población ante eventos de inundación y proporcionar un albergue digno para proteger sus vidas. El análisis del ciclón tropical Stan, en el comportamiento de la lluvia y el nivel del río Coyolate, permitirá deducir indicadores de alerta que podrían implementarse a corto o mediano plazo. La clave para lograr un eficiente funcionamiento del sistema de alerta temprana es el monitoreo constante de las condiciones hidrometeorológicas en los puntos críticos, así como su almacenamiento. De esta forma, se podrían realizar ajustes regularmente, para ir aumentando la eficiencia del sistema de alerta temprana. En la actualidad, existen estaciones de vigilancia del nivel en los ríos Cristóbal y Coyolate, sin embargo, las alertas no están definidas en base a un análisis hidrológico detallado, donde se consideren los aspectos más importantes que son frecuencia, humedad del suelo y nivel del río. En el presente estudio se analizó el comportamiento de la lluvia y nivel del río Coyolate durante los primeros 10 días del mes de Octubre del año 2005, seleccionando la estación climática Camantulul, por considerarse que está ubicada en la región de mayor concentración de lluvia en la cuenca. El régimen de lluvias en la cuenca está bien caracterizado, siendo la parte media donde existe mayor cantidad de lluvia, con predominancia de eventos de fuerte intensidad pero de baja a mediana duración, no precisamente

originando crecidas, más aún si el suelo esta a un contenido de humedad cercano al punto de marchites permanente (seco). En lo que concierne a las partes baja y alta de la cuenca, el régimen de lluvias decrece significativamente, en especial en la parte alta en el departamento de Chimaltenango, donde se estiman aproximadamente 1000 mm anuales. En el análisis se consideró la interacción de la lluvia en el nivel del río así como la lluvia antecedente. El punto de mayor relevancia en la cuenca es la aldea Cerro Colorado (ubicada a 40 msnm), por ser ahí donde se inician las inundaciones, por lo que los tramos a ser objeto de estudio son los puentes Coyolate, Cristóbal y Pantaleón hacia dicho sitio (afuentes principales). En dichos puntos es vital el monitoreo constante de los niveles en la época de mayor concentración de lluvias (Agosto a Septiembre), así como las condiciones de la lluvia. Con el objetivo de poseer mayores argumentos en la formulación de los niveles de alerta, se realizó una simulación hidráulica del cauce, considerando el tramo del puente Coyolate hacia la aldea Cerro Colorado, seleccionándose siete secciones. La simulación se realizó para estimar el tiempo de viaje de crecidas para diversos periodos de retorno (desde dos hasta 1000 años) y posteriormente conociendo los niveles de dichas crecidas que podrian ser indicadores de alerta. Al observar el comportamiento normal del río, se concluye que a partir de un nivel de dos m y condiciones de lluvia de moderada intensidad y duración prolongada puede ser un nivel de alerta. El tiempo estimado osciló entre una y cuatro horas dependiendo de la magnitud de la crecida. Lo anterior, considerando la lámina de lluvia acumulada en los días previos al evento, repercutiendo directamente en la humedad de los suelos y por tanto, en su potencial de escurrimiento e infiltración.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Coyolate se localiza en la región Sur-Occidente de la República de Guatemala, siendo sus coordenadas geográficas 14°19'52" latitud Norte y 91° 10' 05" longitud Oeste, con altitud promedio de 1200 msnm. Posee una extensión territorial de 1734.42 km² abarcando

los departamentos de Chimaltenango, Sololá, Escuintla y Suchitepéquez. Forma parte de las 18 cuencas que drenan a la vertiente del océano Pacífico, identificado con el numeral 1.10 (IGN, 2006). Su ocurrencia de inundación según el MAGA et al (2002) se estima entre 60 y 100%. En donde existen alrededor de 9 comunidades con una población aproximada de 13179 habitantes susceptibles a estos fenómenos. De acuerdo al INSIVUMEH (2004), la cuenca del río Coyolate posee un régimen de lluvias tipo orográfico. En cuanto a lluvias intensas pueden esperarse lluvias arriba de los 100 mm en 24 horas. Durante los días del paso del ciclón tropical Stan, en el mes de octubre del año 2005, se registraron lluvias de 505 mm durante el periodo comprendido del 1 al 10 de octubre, en Santa Lucía Cotzumalguapa, con lluvia máxima registrada en 24 horas, de 169 mm (INSIVUMEH, 2005).

METODOLOGÍA

La primera fase consistió en el análisis de la lluvia en la cuenca, para lo cual se analizó el pluviograma de la estación Camantulul, obteniendo registros continuos con intervalos de 15 minutos durante el periodo del 01 al 10 de Octubre del año 2005. Además, se realizó la comparación entre el régimen de lluvias normal en la parte alta, media y baja de la cuenca, con lo observado durante el ciclón tropical Stan, considerando las estaciones climáticas Santa Cruz Balanyá, Camantulul y Puerto San José respectivamente. La segunda fase consistió en el análisis del comportamiento limnimétrico del río Coyolate, recurriendo a registros históricos de la estación hidrométrica puente Coyolate. Así como las respectivas ecuaciones calibradas para la estimación del caudal. Posteriormente se contrastó las intensidades de lluvia en el nivel del río, obteniéndose, como era de esperarse un efecto directo. La tercera fase consistió en la simulación hidráulica del cauce, seleccionándose el tramo del puente Coyolate hacia la aldea Cerro Colorado, para lo cual se utilizó el programa HEC – RAS, software que fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros Hidrólogos del Ejército de los Estados Unidos (Hidro-

logic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineering). Dicho programa permite el cálculo en régimen permanente de la superficie del agua en cauces naturales y canales, tanto en régimen subcrítico como en régimen supercrítico. Previo se realizó el análisis regional de crecidas, seleccionándose caudales desde 2 hasta 1000 años de periodo de retorno, estimados con la distribución teórica de frecuencia Log Pearson III por ser a la que mejor se ajustaron los datos.

RESULTADOS

Según los registros históricos de las bandas de pluviógrafo (pluviograma) de la estación climática Camantulul, los primeros 3 días de octubre fueron de baja precipitación, registrándose 2.10, 10.70 y 42.40 mm respectivamente. El incremento de precipitación fue notorio a partir del día 04, donde se registró 122.30 mm de lluvia, alcanzando su máximo valor el día 05, con 169.30 mm, decreciendo el día 06 a 34.40 mm. En la gráfica siguiente, se muestra el comportamiento de la lluvia en dicha estación durante los primeros 10 días de Octubre del año 2005:

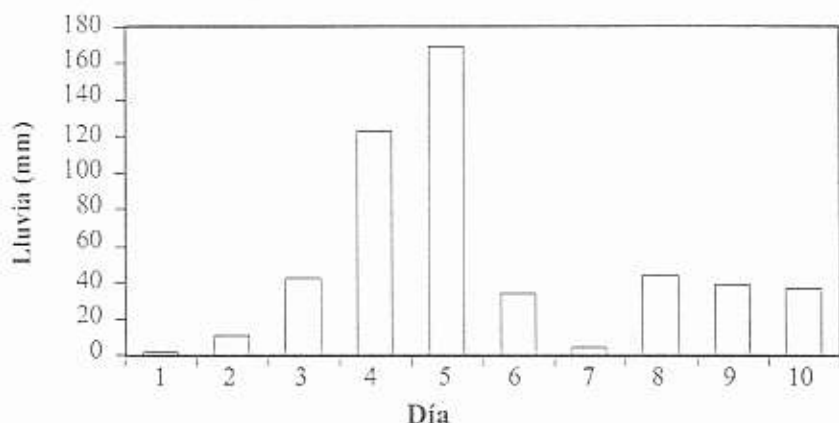


Figura 1. Lluvia diaria durante el huracán Stan del 01 al 10 de Octubre del año 2005 en la estación climática Camantulul.

Se observa claramente que los días de mayor concentración de lluvia fueron el 04 y 05 de Octubre, donde precipitó un total de 291.60 mm, aproximadamente el 60% de lo que se registró durante todo el periodo. Además, la siguiente gráfica muestra a manera de comparación las diferencias entre el régimen histórico de precipitación durante el periodo de 1973 a 2004 y el ciclón tropical Stan en las estaciones climáticas representativas en la cuenca del río Coyolate:

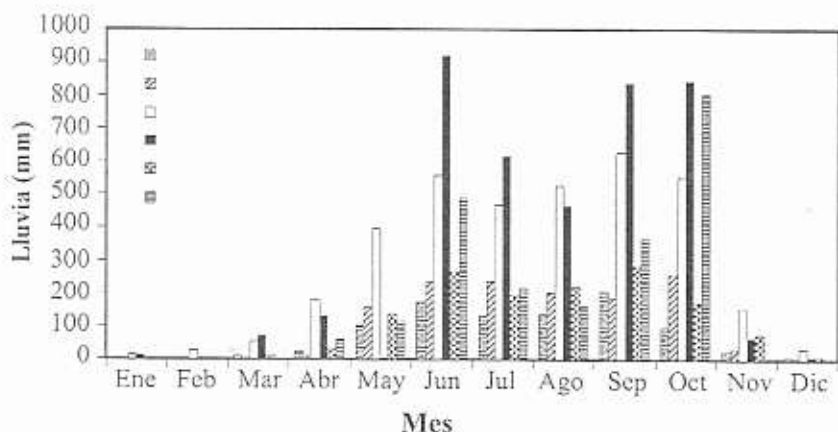


Figura 2. Comparativo del régimen de lluvia normal con el ciclón tropical Stan.

Resalta significativamente que las lluvias son de mayor magnitud en la parte media de la cuenca del río Coyolate, razón por lo que la estación climática Camantulul se toma como referencia para el análisis de crecidas. Además, en el mes de Junio del año 2005, en la estación climática Camantulul se registraron 919 mm de lluvia siendo mayor que lo que se registró en el mes de octubre del mismo año. La diferencia es que durante el ciclón tropical Stan la mayor parte de la lluvia estuvo concentrada durante los primeros 10 días del mes de Octubre, a diferencia del mes de Junio, donde hubo una mayor homogeneidad de las lluvias en cuando a frecuencia e intensidad, aunado a la saturación de los suelos.

El hietograma de lluvia acumulada con intervalos de 60 y 15 minutos para los días 04 y 05 de octubre del año 2005, en la estación climática de Camantulul se muestra a continuación:

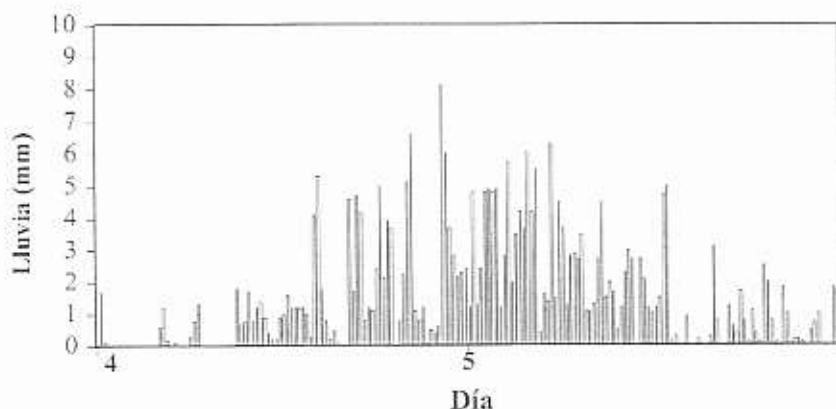


Figura 4. Hietograma con intervalos de 15 minutos los días 04 y 05 de Octubre del año 2005 en la estación climática Camantulul.

Ambos días acumulan en total 291.60 mm de lluvia, siendo aproximadamente el 60% del total que precipitó del 01 al 10 de octubre del mismo mes. Cabe destacar que los eventos de precipitación en estos días fueron los que provocaron la crecida del río Coyolate y posteriormente las inundaciones. La lluvia fue continua a partir de las 9:00 a.m. del día 04 hasta las 22:30 a.m. del día 05, donde se estima que precipitó un total de 283.50 mm. Previo a este evento, los suelos ya habían recibido en promedio unos 300 mm de lluvia en los últimos días del mes de Septiembre, por lo que estaban a una condición de humedad igual o mayor a la capacidad de campo, o sea, cuando los suelos tienen el mayor potencial de escorrentía. En esta condi-

ción de humedad antecedente, la humedad de los suelos oscila entre la saturación y la capacidad de campo, donde poseen el menor potencial de infiltración. Esto es importante, pudiéndose comprobar el día 31 de Agosto de 2006, donde en la estación Camantulul se registró un evento de lluvia 183 mm (mayor que lo observado durante el ciclón tropical Stan), sin embargo, en los días previos únicamente se registró un total de 46.9 mm, lo que indica que el suelo estaba muy por debajo del contenido de humedad correspondiente a la capacidad de campo. El comportamiento y las fluctuaciones del nivel del agua en el río Coyolate es de relevancia en el estudio, ya qué podría establecerse un nivel crítico relacionado con el inicio de las inundaciones aguas abajo. Para esto se cuenta con registros históricos del comportamiento del nivel del río cada 15 minutos durante el periodo del 01 al 10 de octubre del año 2005 con sus ecuaciones respectivas para la estimación del caudal en lo que corresponde a la estación hidrométrica localizada en el puente del río del mismo nombre (Pérez, 2007). El nivel del río Coyolate durante el periodo de 01 al 10 de Octubre del año 2005 se observa en la siguiente figura 5. En términos generales el comportamiento del nivel del río Coyolate, los días previos a que se intensificarán las lluvias, es bastante homogéneo, oscilando entre 1.00 y 1.25 m, a excepción de un pequeño pico que se produce el día 01 de octubre, entre las 9:15 a.m. y 10:30 a.m. alcanzando su mayor valor a las 10:00 a.m. (1.43 m). Esto pudo haberse debido a un evento de precipitación aislado en la parte media de la cuenca del río Coyolate, ya que coincide con un evento de lluvia de pequeña magnitud que se registró en la estación climática Camantulul. Además, se observa que existe cierta tendencia a incrementar el nivel del río a partir de las 9:30 a.m. del día 03 de octubre donde se registró un nivel de 1.07 m, alcanzando 1.35 m a las 02:00 p.m. del mismo día, prácticamente donde se da el inicio del aumento en la intensidad de las lluvias.

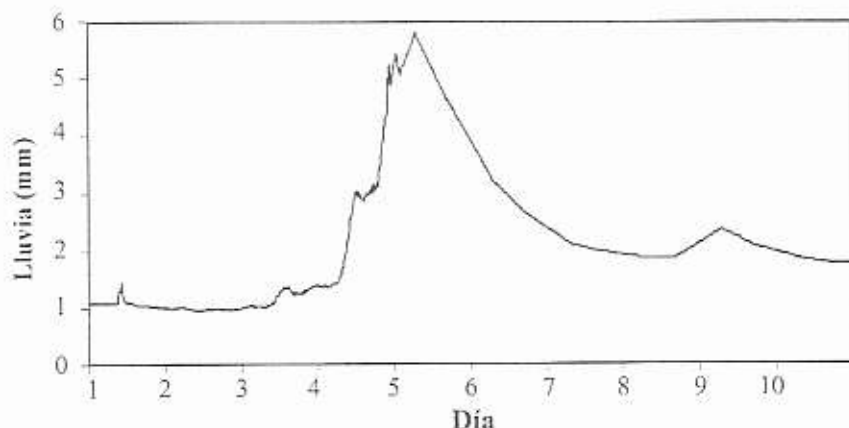


Figura 5. Nivel del río Coyolate del 01 al 10 de Octubre del año 2005 en la estación hidrométrica Puente Coyolate.

Se observa que en las primeras horas del día 04 de octubre el nivel del río se mantiene más o menos constante, registrándose un ascenso a partir de las 5:00 a.m. hasta las 12:15 p.m. donde el nivel asciende de 1.39 m hasta aproximadamente 3.01 m, manteniéndose constante hasta las 05:15 p.m. del mismo día. A partir de las 05:30 p.m. se registra un ascenso significativo del nivel del río hasta registrarse el máximo nivel a las 07:00 a.m. del día 05. Es importante mencionar que el máximo nivel en el río se alcanzó, ya que según estimaciones, en la estación climática Camantulul se registro una lámina total de lluvia de 179.30 mm durante las 04:00 p.m. del día 04 a las 7:00 a.m. del día 05, lo cual se vio reflejado en el nivel del río. Posteriormente, inicia un descenso gradual del nivel del río aproximadamente a las 10:30 a.m. del día 07, con un nivel de 2.05 m. Además, existe un descenso drástico de la intensidad de precipitación, ya que durante el periodo transcurrido entre las 7:00 a.m. del día 05 y las 10:00 a.m. del día 07 se estimo una lámina de 109.30 mm. Además, el día 07, únicamente se registró un total de 4.20 mm de lluvia,

los suelos completamente saturados disminuyeron su volumen de agua. Se observa un ligero ascenso del nivel del río el día 08, a partir de las 05:00 p.m. lo cual se debe a un evento de precipitación registrado en la estación de Camantulul, el cual inicia a partir de las 01:45 p.m. y finaliza a las 05:45 a.m. del día siguiente, donde se estimaron 74.6 mm de lluvia. A partir del día 10 al 31 de Octubre, se estimó un total de 340 mm de lluvia, donde prácticamente los suelos ya habían drenado lo suficiente. A partir del día 10 de Octubre el nivel del río tiende a estabilizarse y alcanzar el nivel que oscila entre 1.00 y 1.50 m. La figura 6 muestra la influencia de la lluvia en el nivel del río Coyolate:

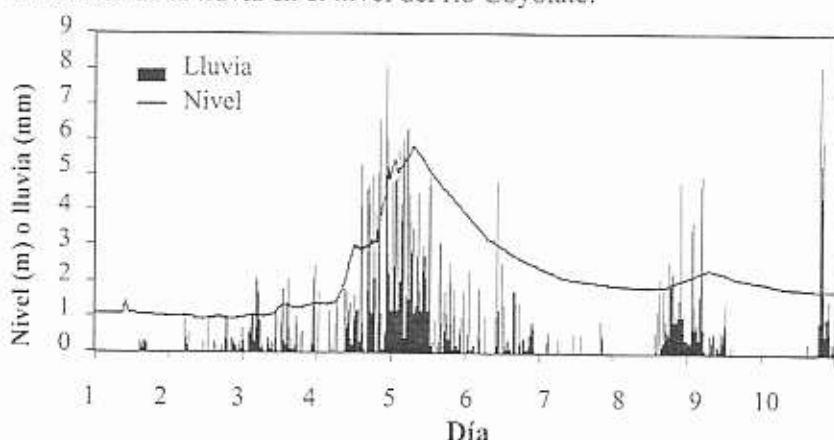


Figura 6. Nivel del río Coyolate vrs lluvia del 01 al 10 de Octubre del año 2005 con intervalos de 15 minutos.

Se observa claramente el efecto de la lluvia sobre el nivel del río Coyolate, coincidiendo el nivel de máxima intensidad con el nivel del río. Se puede inferir que el nivel normal del río oscila alrededor de 1 a 1.5 m, por lo que valores mayores podrían ser indicativos de alerta. Lo anterior, se fundamenta al observar el comportamiento del nivel del río durante el año, como se muestra a continuación:

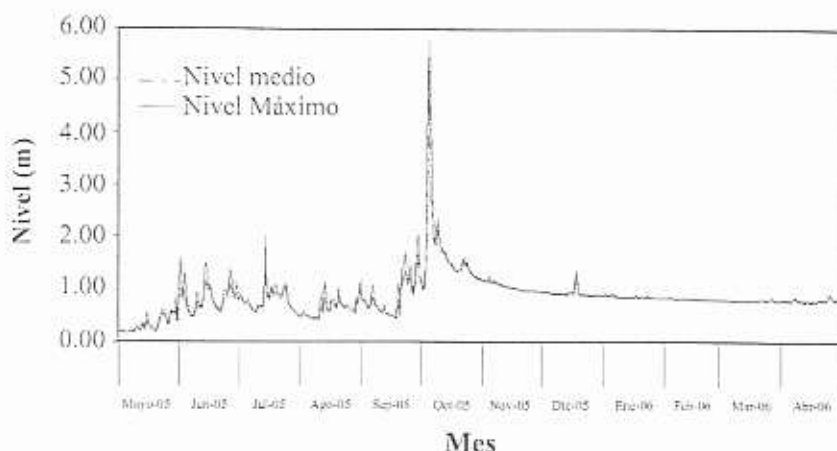


Figura 7. Comportamiento del nivel diario del río Coyolate durante el año hidrológico 2005 - 2006.

En lo que se refiere a niveles que se simularon para diferentes periodos de retorno, de acuerdo al análisis regional de crecidas realizado, se muestran a continuación:

Cuadro 1. Niveles simulados para diversos caudales en la estación hidrométrica Puente Coyolate.

Periodo de retorno (años)	Caudal m^3/s	Nivel (msnm)	Diferencia con respecto al fondo del río (m)
2	199	214.69	1.64
5	395	215.52	2.71
10	594	216.23	3.62
25	949	217.30	5.52
50	1310	218.24	6.75
100	1777	219.35	7.67
200	2375	220.61	4.49
1000	4448	224.31	13.70

Fuente: Elaboración propia (2008).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Básicamente, se observa que existe alta incidencia de la lluvia registrada en la estación climática Camantulul y los niveles del río Coyolate en la estación del puente del río del mismo nombre. Por lo que el uso de indicadores, tanto de intensidad y duración de lluvia como del nivel del río, son útiles para ser implementados en alertas sobre inundaciones en la cuenca del río Coyolate. En síntesis el evento de precipitación de mayor duración y lámina comprendió entre las 9:00 p.m. del día 04 hasta las 10:30 p.m. del siguiente día, donde se estiman 283.50 mm. En este caso se utilizaron los datos de la estación Camantulul, por localizarse en la parte media de la cuenca, aproximadamente 65 m de mayor altura sobre el nivel del mar que la estación hidrométrica Puente Coyolate. Por su localización, en este sitio donde se dan los eventos de precipitación de mayor intensidad y duración. Algo sumamente importante, es resaltar que el nivel normal del río Coyolate oscila alrededor de 1.5 m de profundidad, por lo que niveles mayores y considerando que los suelos se encuentran con una humedad cercana o mayor a la capacidad de campo pueden ser indicativos de una probable crecida que propiciará inundaciones en la parte baja de la cuenca, donde está expuesto aproximadamente el 30% de los poblados en la cuenca. El nivel del río unido a la intensidad y frecuencia de lluvia es indispensable en todo sistema de alerta temprana. En este caso, existe una estación hidrométrica en el puente Coyolate, por lo que su monitoreo durante la época de lluvias es vital. Se observa en el cuadro 1, que los niveles del río Coyolate para crecidas con periodos de retorno de 2 años es de 1.64 m, concordando con el comportamiento normal. Un indicativo de alerta un nivel de 2.00 m. Para la crecida con periodo de retorno de 50 años se obtiene un nivel de 6.75 m, siendo mayor de lo que se registro durante el ciclón tropical Stan (5.80 m). Debido a que el periodo de retorno del ciclón tropical Stan es menor (aproximadamente 30 años).

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Es importante hacer notar, que en este análisis se considera únicamente el río Coyolate como el afluente principal causante de las inundaciones en la cuenca. Sin embargo, los ríos Cristóbal y Pantaleón aportan cantidades significativas de caudal y cuando estos se unen al río Coyolate, se inician las inundaciones normalmente en jurisdicción de la aldea Cerro Colorado. Por lo tanto, resulta vital un monitoreo constante del nivel en ambos cauces, pudiéndose ubicar una estación hidrométrica en el río Pantaleón, ya que en el río Cristóbal actualmente se encuentra instalada una estación. Lo ideal, sería contar con estaciones automatizadas vía satélite para poseer registros continuos del nivel del río, preferentemente cada 15 minutos. Además del monitoreo constante del nivel en los principales afluentes de la cuenca del río Coyolate, es necesario su almacenamiento y procesamiento, con el objetivo de analizar futuros eventos extremos, así como el de realizar pronósticos de crecidas e inundaciones para cada temporada de lluvias. De esta manera se podrían ir detallando los indicativos de alerta, repercutiendo en el aumento de la eficiencia del sistema y reduciendo la vulnerabilidad de la población ante este tipo de eventos hidrometeorológicos. Algo sumamente importante, es que más allá del régimen torrencial de las lluvias en la zona (alta intensidad y de corta a moderada duración) es considerar la lámina de lluvia acumulada en los días previos al evento, la intensidad y duración, así como el nivel en el río Coyolate.

RECONOCIMIENTO

Los autores desean expresar su más sincero reconocimiento a la Sección de Hidrología del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, en especial al Ing. Víctor Manuel Pérez, Ing. Luis Santos y Sr. Jorge Mario Izaguirre.

BIBLIOGRAFÍA

1. APARICIO, M. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa.
2. HELWEG, O. J. Recursos Hidráulicos, planeación y administración. Limusa, México.
3. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2004. Análisis regional de crecidas en la república de Guatemala.
4. LINSLEY, A. 1988. Hidrología para Ingenieros. 2 ed. México, McGraw-Hill.
5. LÓPEZ, F. 1999. Evaluación hidrológica de las crecidas provocadas por el paso del huracán Mitch en Guatemala. (correspondencia personal)
6. OROZCO, E. 2006. Curso hidroeléctricas. (correspondencia personal)
7. OROZCO, E. 2006. Notas del curso de hidrología estocástica, capítulo (Correspondencia personal). Guatemala, USAC, ERIS, Maestría en Recursos Hidráulicos. 35 p.
8. PÉREZ, V. 2007. Niveles históricos del río Coyolate y metodología de estimación de caudales, Departamento de Investigación y Servicios Hidricos INSIVUMEH. (comunicación personal)
9. PROGRAMA MUNDIAL DE ALIMENTOS; INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT); CONRED (Coordinadora Nacional Para la Reducción de Desastres de Guatemala, GT). 2002. Estimación de amenazas inducidas por fenómenos hidrometeorológicos en la república de Guatemala, Guatemala.

* Ingeniero Agrónomo, egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, posee una maestría en recursos hidráulicos y otra en ciencias de suelo y agua. Ha sido catedrático en cursos de hidrología, hidráulica, conservación de suelos y manejo de cuencas hidrográficas, además se ha desempeñado como ingeniero hidrólogo en diversas entidades. Actualmente imparte los cursos de climatología ambiental y manejo integral de cuencas hidrográficas en la Facultad de Ingeniería, USAC.

** Ingeniero Civil, egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, posee una maestría en recursos hidráulicos y un doctorado en hidrología. Se ha desempeñado como consultor en el área de hidrología en diversas entidades estatales. Actualmente es catedrático titular de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería, ERIS-USAC, impartiendo los cursos de estadística aplicada, hidrología general, hidrología estocástica, flujo en medios porosos y aprovechamiento de aguas subterráneas.

Determinación fitoquímica y de actividad antifúngica de cultivares de *Solanum Americanum* Miller y caracterización de preparaciones para la industria fitofarmacéutica

A. Cáceres, V. Martínez, AM. Paz, M. Véliz, A. Saravía,
I. Gaitán, SM. Cruz, H. Ortiz, C. Teleguario, M. Chigüichón,
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y Facultad de
Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala

RESUMEN

El presente estudio evaluó el desarrollo agronómico, las características fitoquímicas y la actividad antifúngica de cinco colectas de *S. americanum* y una de *S. nigrescens*, para compararlos con cultivares desarrollados en los campos de la Facultad de Agronomía y desarrollar preparados fitofarmacéuticos que garanticen la disponibilidad de una droga vegetal de calidad farmacéutica, que tenga suficiente material homogéneo para una fase piloto industrial, permita generar un producto estandarizado para ser ensayado clínicamente y conocer los parámetros para su producción artesanal o industrial.

Las muestras de *S. americanum* fueron colectadas en Nueva Santa Rosa (Santa Rosa), San Miguel Panán (Suchitepéquez), Poptún-San José (Petén), El Jicaro (El Progreso) y Uspantán (El Quiché) y la de *S. nigrescens* en San Pedro Sacatepéquez (San Marcos). Los lugares de colecta son bosques húmedos subtropicales con excepción de El Jicaro el cual seco. Las características físicas de las plantas colectadas fueron muy similares entre sí, siendo únicamente la cantidad de semillas la que varía en cada una de las colectas. El mayor porcentaje de germinación a lo largo de tres meses lo obtuvo la colecta 1.

De acuerdo a los resultados de porcentaje de germinación, rendimiento del extracto y de la actividad antifúngica contra hongos miceliares y levaduriformes, son las colectas 1 procedente de Nueva Santa Rosa, Santa Rosa y 2, procedente de El Jicaro, El Progreso, las colectas que presentan mejores resultados y en las que deberán hacerse nuevas evaluaciones preclínicas para completar su información. Los resultados de toxicidad *in vitro* e *in vivo* demostraron que no presentan toxicidad y por tanto se pueden obtener preparados seguros para su uso en la industria fitofarmacéutica.

INTRODUCCIÓN

Las infecciones micóticas son importantes causas de morbilidad en las poblaciones rurales del país, pero sus tratamientos son generalmente de alto costo, de largo tiempo de administración y cierta toxicidad. Estas infecciones generalmente son de curso crónico y es a menudo el sistema inmunológico del paciente el que determina su cuadro clínico.

La diversidad florística de Guatemala ha motivado a realizar estudios de detección y validación de plantas de uso medicinal con el objetivo de proponer nuevas alternativas, mayor disponibilidad y mejor índice terapéutico, que permita ampliar la cobertura de atención por los sistemas de salud. Se seleccionó al Macuy (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.), por ser usado como alimento, lo que indica cierta seguridad, y por haberse validado el uso tradicional de la actividad antifúngica (Cáceres *et al.*, 1987), estableciéndose las moléculas responsables de la actividad (He *et al.*, 1994) y realizando ensayos clínicos preliminares (Girón *et al.*, 1988); pero, al tratar de reproducir los experimentos y de escalar en su producción a nivel piloto se encontró que era una especie variable y poco frecuente en el país. *Solanum americanum* Mill. es una especie abundante en el país, presenta actividad similar y es usado indistintamente por la población, pero aparentemente existen cultivares diferentes en su composición química lo que se manifiesta con variabilidad en su bioactividad. En la presente investigación se pretendió proponer el cultivar que tuviera mejor composición y mayor bioactividad de cinco colectas de *S. americanum* y una de *S. nigrescens* en distintos puntos.

METODOLOGÍA

Universo de trabajo: La especie inicialmente seleccionada (*S. nigrescens*) por su actividad antifúngica y posibilidades de desarrollo industrial fue escogida por ser anual y de cultivo relativamente fácil, pero por tener una distribución restringida en el país se dificultó su desarrollo agrotecnológico. Por lo tanto el estudio fue realizado con *S. americanum*, que es más abundante en el país y que se usa indistintamente con *S. nigrescens*, tanto para alimento como para medicina.

Población: fueron tomadas muestras de seis cultivares predominantes en el país y provenientes de diferentes zonas ecológicas. El rendimiento fue determinado en sólidos totales a la extracción etanólica, así como su contenido de saponinas como familia química de interés y su actividad *in vitro* contra hongos patógenos (levaduriforme y miceliares) utilizando los procedimientos descritos en el Laboratorio de Bioensayos y el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT) de la Facultad de CCQQ y Farmacia.

Obtención de material vegetal (delimitación de la población): Seis lugares de colecta, de *S. americanum* cinco (1. Nueva Santa Rosa, Santa Rosa; 2. San Miguel Panán, Suchitepéquez; 3. Poptún-San José, Petén; 4. El Jicaro, El Progreso; 5. Uspantán, El Quiché) y de *S. nigrescens* una en San Pedro Sacatepéquez, San Marcos. Se realizaron visitas a cada localidad, ubicando y arribando a los lugares referidos. En cada punto se interrogó a vecinos para identificar áreas donde existieran poblaciones de la especie. Se colectó en fructificación y se secó el material vegetal en hornos y secadores solares de la Facultad de Agronomía, además, en cada localidad se obtuvieron muestras que se herborizaron y confirmaron en el Herbario BIGU de la Facultad de CCQQ y Farmacia (Azurdía, 1995).

Proceso de obtención de semilla: se maduraron los frutos y a las semillas obtenidas se les eliminó su excedente de agua y almacenaron adecuadamente (Andrews, 1981). Propagación de los materiales y preparación del área de siembra: se utilizaron bandejas formadoras de pilones,

se depositaron semillas en el sustrato húmedo de cada espacio de la bandeja, realizando riegos periódicos. Se realizaron controles fitosanitarios (Delgado, 1984). En la preparación del área de siembra se incorporó materia orgánica para favorecer la fertilidad del suelo y la disposición de nutrientes para las plantas

Germinación: Es una aceleración del crecimiento del embrión o de la plántula (Vásquez, 1984; Weaver, 1976)

Composición de la muestra: se obtuvieron muestras representativas de 250-500 g de material vegetal por población; la mitad del material fue almacenado como muestra de referencia de cada población y la otra sometida a las pruebas de laboratorio (estudio fitoquímico, ensayos biológicos y propagación de los cultivares), los cuales fueron realizados mediante los procedimientos descritos en los manuales del Laboratorio de Bioensayos y LIPRONAT de la Facultad de CCQQ y Farmacia.

Se determinó la actividad de cada uno de los extractos etanólicos obtenidos contra las bacterias Gram positivo *Bacillus subtilis* ATCC 6051 y *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, la micobacteria *Mycobacterium smegmatis* ATCC 607, las bacterias gram negativo *Escherichia coli* ATCC 9637, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Salmonella typhi* ATCC 14028; los hongos levaduriformes *Candida albicans* ATCC 10231 y *Cryptococcus neoformans* C13 según una metodología de siembra por estría en agar-planta (Mitscher, 1972 y 1987); y, los hongos filamentosos *Aspergillus flavus* CCQQ A-75, *Microsporium gypseum* CCQQ M-71, *Trichophyton rubrum* por un método de siembra en pozos de agar-planta (Brancato & Goldingm 1983, Mac Rac *et al.*, 1988, Vanbrenseghem *et al.*, 1970).

También se determinó la toxicidad de los extractos *in vitro* mediante el tamizaje de la actividad citotóxica contra nauplios de *Artemia salina* (Solis *et al.*, 1993) y evaluando la dosis letal media en ratones *in vivo* (Saravia, 2005; Sperman, 1956).

Mediante ensayos macro, semimicro y cromatografía en capa fina (CCF) se identificaron metabolitos secundarios presentes en los extractos etanólicos los cuales fueron alcaloides y saponinas (Wagner & Bladt, 1996).

RESULTADOS

Se colectaron cinco muestras de *S. americanum* provenientes de Nueva Santa Rosa, Santa Rosa; San Miguel Panán, Suchitepéquez; Poptún-San José, Petén; El Jicaro, El Progreso y Uspantán, El Quiché y una colecta de *S. nigrescens* de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de las áreas de colecta.

No. Colecta	Nombre de la colecta	Zona de vida	Nombre científico	Nombre común
1	Nueva Santa Rosa	Bosque húmedo	<i>S. americanum</i>	Quilete
2	San Miguel Panán	subtropical templado, bh-S (t)	<i>S. americanum</i>	Hierba Mora
3		Bosque muy húmedo		
4		subtropical cálido, bmh-S (c)		
5				
6	Poptún-San José	Poptún: Bosque muy húmedo subtropical cálido, bmh-S (c), San José: Bosque húmedo subtropical cálido, bh-S (c)	<i>S. americanum</i>	Hierbamora
	El Jicaro	Monte espinoso subtropical, me-S	<i>S. americanum</i>	Quilete, maeuy
	Uspantán		<i>S. americanum</i>	Hierba mora
	San Pedro	Bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bmh-MB		
	Sacatepéquez	Bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bmh-MB	<i>S. nigrescens</i>	Hierba mora

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las características físicas de cada una de las muestras de las colectas, donde se puede observar que presentan diferentes hábitos y un rendimiento de semilla entre 3,284-6,000 semillas/g.

Tabla 2. Características de las especies

No.	Altura planta adulto (m)	Diámetro obertura (cm)	Arquitectura de la planta	Color de flor	Diámetro del fruto (mm)	Semillas en 1 g	Color del fruto maduro
1	0.5-1.0	60	Recta o	Blanca o lila	7.0	3,284	Morado
2	1.0	75	decumbente	Blanca o lila	7.3	5,000	Morado
3	0.5-0.7	65	Recta o	Blanca o lila	6.8	4,475	Morado
4	0.5-0.6	50	decumbente	Blanca	6.0	4,286	Morado
5	0.4-1.0	35	Recta	Blanca o lila	7.3	6,000	Morado
6	0.75-1.0	60	Recta Recta o decumbente Recta	Blanca y lila	6.5	4,166	Verde y morado

Fuente: datos experimentales

Se colectó además un espécimen de cada una de las colectas para su determinación botánica o taxonómica y registro en el Herbario BIGU (Tabla 3). En la misma Tabla se presentan los resultados del porcentaje de rendimiento de los sólidos extraíbles obtenido mediante la técnica de percolación con etanol al 50%, concentración en rotavapor y desecación en desecadores al vacío.

Tabla 3. Registro botánico del Herbario BIGU y porcentajes de rendimiento

No. Colecta	Material vegetal (g)	Registro BIGU	Extracto (g)	Rendimiento (%)1
1	141.79	36671	43.91	30.97
2	178.56	36928	21.42	12.00
3	96.12	34032, 34036	38.10	39.64
4	139.10	34033	70.90	50.97
5	228.25	34034	81.97	35.91
6	116.10	34035	51.8	50.00

Fuente: Datos experimentales y Archivo de BIGU

En la Tabla 4 se presentan los resultados del porcentaje de germinación de las semillas de cada una de las colectas durante tres meses

Tabla 4. Porcentajes de germinación

No. Colecta	Germinación (%)
1	72
2	68
3	48
4	60
5	38
6	34

Fuente: datos experimentales

A los extractos se les determinó la actividad contra bacterias Gram positivo y Gram negativo, hongos miceliars y levaduriformes. Entre las bacterias Gram positivo se trabajó con *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*, entre las bacterias Gram negativo se trabajó con *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, y entre las micobacterias se trabajó con *Mycobacterium smegmatis*.

Se estableció como punto de corte una concentración de 1,000 µg/mL, cuando un microorganismo era inhibido, se consideró que el extracto tenía actividad positiva, si se presentaba crecimiento era considerado negativo o sin actividad (Tabla 5).

Tabla 5. Actividad antibacteriana y antilevadura

Colecta	Microorganismos					
	A	B	C	D	E	F
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-

Fuente: datos experimentales

A: *S. aureus* ATCC 25923, B: *S. typhi* ATCC 14028, C: *M. smegmatis* ATCC 607, D: *B. subtilis* ATCC 6051, E: *P. aeruginosa* ATCC 27853, F: *C. neoformans* C13, G: *E. coli* ATCC 25922,

(-) Actividad negativa a concentración de 1000 µg/mL. Concentración en µg/mL.

*Determinación fitoquímica y de actividad antifúngica
de cultivos de Solanum Americanum Miller y caracterización
de preparaciones para la industria fitofarmacéutica*

En la Tabla 6 se presentan los resultados del tamizaje contra hongos miceliares (*Aspergillus fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger*, *Microsporum gypseum*, *Trichophyton rubrum*, *T. mentagrophytes*, *Sporothrix schenckii* y *Fonsecaea pedrosoi*) hongos levaduriformes (*Candida albicans*, *C. glabrata*, *C. steatoidea*, *C. parapsilosis*, *C. krusei*, *S. cerevisiae* y *Cryptococcus neoformans*).

Tabla 6. Tamizaje hongos miceliares (mg/mL)

No. Colecta	Microorganismos														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	-	-	-	-	-	62.5	62.5	-	125	500	62.5	125	-	62.5	250
2	-	-	-	-	-	-	500	-	250	-	500	-	-	500	250
3	-	-	-	-	-	125	62.5	-	250	1	500	125	-	125	-
4	-	-	-	-	-	31.2	62.5	-	500	500	500	125	-	62.5	500
5	-	-	-	-	-	125	125	-	500	-	62.5	500	-	62.5	500
6	-	-	-	-	-	125	500	-	125	-	500	125	-	125	250

Fuente: datos experimentales

A: *Aspergillus fumigatus* ATCC 26934, B: *Aspergillus flavus* ATCC 9170, C: *Aspergillus niger* ATCC 9029, D: *Microsporum gypseum* C 115 2000, E: *Trichophyton rubrum* C 113 2000, F: *Trichophyton mentagrophytes* ATCC 9972, G: *Sporothrix schenckii* C19, H: *Fonsecaea pedrosoi* I: *C. albicans* ATCC 10231 J: *C. glabrata* K: *C. steatoidea*, L: *C. parapsilosis*, M: *C. krusei*, N: *S. cerevisiae* O: *Cryptococcus neoformans*

(-) Actividad negativa a concentración de 1000 µg/mL.

Fue realizado también el tamizaje contra hongos miceliares por la técnica de microdilución en placa, encontrándose actividad contra levaduras y dermatofitos (Tabla 7).

Tabla 7. Actividad antifúngica a dosis por el método de microdilución en placa

Colecta	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	-	-	-	-	-	-	+	+	+
2	-	-	-	-	-	-	+	+	+
3	-	-	-	-	-	-	+	+	+
4	-	-	-	+	-	+	+	-	+
5	-	-	-	+	-	+	+	+	+
6	-	-	-	-	-	+	+	+	+

Fuente: datos experimentales.

A: *Aspergillus fumigatus* ATCC 26934, B: *A. flavus* ATCC 9170, C: *A. niger* ATCC 9029, D: *Microsporum gypseum* C 115 2000, E: *Trichophyton rubrum* C 113 2000, F: *T. mentagrophytes* ATCC 9972, G: *Candida albicans*, H: *Cryptococcus neoformans*, I: *Saccharomyces cerevisiae*.

(-) Actividad negativa a concentración de 1000 µg/mL.

A un compuesto que se administra es importante determinar su letalidad, en este estudio se determinó la actividad citotóxica de los seis extractos preparados contra nauplios de *A. salina* y la dosis letal media *in vivo* utilizando ratones como modelo animal. Se determinó que únicamente las colectas 1 y 3 tienen actividad citotóxica a una concentración de 500 µg/mL.

La dosis letal media se realizó únicamente en el extracto de la colecta 1, ya que fue el extracto con mejor actividad antifúngica contra *C. albicans* y *C. neoformans* hongos para los cuales está reportado en otros estudios de su eficacia como tratamiento fitoterápico popular. También se le realizó a la colecta 6 por ser la única colecta de *S. nigrescens*. La dosis que se administró en ratones fue de 200, 250, 300, 350, 400 y 450 mg/kg, con cinco ratones para cada dosis, obteniéndose que ninguna de las dos especies ensayadas es tóxica a esas concentraciones (Tabla 8).

Tabla 8. Actividad citotóxica contra nauplios de *Artemia salina* (µg/mL) y Dosis letal media en ratones

Colecta	Citotoxicidad contra <i>A. salina</i>	Dosis letal media en ratones DL ₅₀		
		Ratones Inoculados	Dosis (mg/Kg)	Ratones muertos
1	1000	25	250	1
		300	1	
		350	1	
		400	0	
		450	0	
2	-			
3	1000			
4	-			
5	-			
6	-	25	250	2
		300	1	
		350	0	
		400	0	
		450	0	

Fuente: datos experimentales

(-) Actividad negativa a concentración de 1000 µg/mL

En la tabla 9 se presentan los resultados de humedad, cenizas totales del material vegetal y sólidos extraíbles, densidad y pH del mestruo.

Tabla 9. Humedad, cenizas totales del material vegetal y sólidos extraíbles, densidad y pH del mestruo

Colecta	Humedad (%)	Cenizas totales (%)	Sólidos extraíbles (%)	Densidad (g/mL)	pH
1	10.62 ± 0.56	12.13	10.85	**	**
2	9.80	**	92.73	1.0170	5.5
3	**	**	27.72	**	**
4	11.17 ± 0.48	**	97.73	1.2169	5.5
5	10.89 ± 2.0	14.31	5.02	0.9379	5.5
6	10.51 ± 1.03	13.66	57.94	1.0140	5.9

Fuente: datos experimentales

** Muestra insuficiente

Mediante ensayos macro, semimicro y cromatografía en capa fina (CCF) se identificaron metabolitos secundarios presentes en los extractos etanólicos los cuales fueron alcaloides y saponinas (Tablas 10-12).

Tabla 10. Alcaloides (cualitativo)

Colecta	Mayer		Dragendorff		Wagner		CCF	
	R	r	R	R	R	r	R	R
1	Pp	+	T	+	Pp	+	Zonas color naranja	+
2		++		+		+	(Vis)	+
3		++		+		+		+
4		+		+		+		+
5		++		+		0		+
6		0		+		0		+

Fuente: datos experimentales

Revelador: Dragendorff, Fase móvil: Tolueno-acetato de etilo-dietilamina (35-10-5),

Estándares: Atropina y papaverina

Referencias: R= reacción; r= resultado Pp: precipitación, T turbidez

Tabla 11. Alcaloides (cuantitativo)

Colecta	Distanciade la muestra	Distancia de fase móvil	Valor Rf	Presencia de alcaloides	Alcaloide (%)
1	7.5	7.7	0.97	+	5.08 ± 3.86
2	3.5	7.7	0.45	+	8.83 ± 2.97
3	3.0	7.7	0.39	+	8.02 ± 2.49
4	3.0	7.7	0.39	+	2.44
5	7.5	7.7	0.97	+	5.37 ± 2.99
6	7.5	7.7	0.97	+	**
Atropina (estándar)	2.5	7.7	0.32	++	
Papaverina (estándar)	4.2	7.7	0.54	++	

(+) Color naranja, presencia de alcaloides

Tabla 12. Saponinas

Colecta	Distancia de la muestra	Distancia de la fase móvil	Valor Rf	Saponinas (%)
1	4.8	7.8	0.615	2.01
2	4.8	7.8	0.615	2.14
3	4.8	7.8	0.615	2.04
4	4.8	7.8	0.615	2.77
5	4.8	7.8	0.615	1.46
6	4.8	7.8	0.615	
Ergosterol*	5.2	7.8	0.66	
Colesterol*	5.2	7.8	0.66	
Saponinas*	-	-	-	
20-Hidroxiecdisona*	-	-	-	

- = No se observaron * Estándares

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las áreas de colecta son zonas de bosque húmedo, a excepción de El Jicaro que son montes espinosos y el clima varía de subtropical templado hasta cálido (Tabla 1).

Las características de las muestras colectadas fueron similares entre sí, con una altura que varía desde 0.5 a 1 m, son plantas rectas o decumbentes, flores blancas a lilas y fruto de color morado o morado-verdoso. La cantidad de semillas varía en cada una de las colectas desde 3,000-6,000 semilla/g de fruto, siendo la colecta 5 la que contiene mayor cantidad. El mayor número de semillas de las colectas 2 a la 6 se debe a que contienen semillas muy pequeñas (Tabla 2).

La colecta 1, fue la que presentó mayor porcentaje de germinación (72%) respecto a las otras colectas. El área donde se estableció la colección de campo (campos de la Facultad de Agronomía) también es un bosque húmedo a una altitud de 1,502 msnm y una precipitación de 989.8 mm, distribuidos en 111 días. Humedad relativa: 79%, temperatura máxima de 20.6°C y mínima de 17.4°C. El suelo tenía un pH 6.7, 24.1 mg/mL de fósforo, 224 mg/mL de potasio, 11.22 Meq/100 mL de suelo de calcio y 3.26 meq/dL de suelo de magnesio.

Se obtuvieron los extractos en etanol al 50% de las seis colectas por extracción en percolador y concentración en rotavapor. De los extractos obtenidos la colecta 4 presentó el mayor porcentaje de rendimiento con un 50.97%, mientras que la colecta 2 fue la de menor rendimiento con un 12.00% (Tabla 3).

A los extractos se les determinó la actividad contra bacterias Gram positivo y Gram negativo, hongos miceliares y levaduriformes. Los resultados presentados en la Tabla 6 muestran que todas las colectas presentaron actividad contra *C. albicans* y *C. neoformans* (con excepción de la colecta 3, que para este último no hubo actividad). La colecta 1 el extracto con mejor actividad antilevadura (*C. albicans* y *C. neoformans*). Todos los extractos presentaron actividad contra *T. mentagrophytes* y *S. schenckii* excepto la colecta 2 que fue positiva únicamente para este último hongo. La mejor actividad de estos dos hongos fue la colecta 4, seguida de la colecta 1 y la 3 (Tabla 7).

Se evaluó además la toxicidad de los extractos realizando la toxicidad contra nauplios de *Artemia salina* y la dosis letal media en ratones. Ninguno de los extractos presentó toxicidad alguna en ambas pruebas (Tablas 8).

En la tabla 9 se presentan los resultados de sólidos extraíbles, porcentaje de humedad y cenizas totales de las seis colectas, obteniéndose resultados similares para todas

las colectas, con excepción de los sólidos extraíbles, ya que las colectas 2 y 4 dieron resultados de 92.73% y 97.73% respectivamente, comparados con los otros extractos que no pasaron de 30%.

Se realizó la detección cuantitativa de saponinas con un porcentaje de 2% en la mayoría de las colectas. Respecto a la cuantificación de alcaloides no se obtuvieron resultados reproducibles, por un margen de error alto en dos metodologías evaluadas para la valoración de alcaloides.⁴

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del porcentaje de germinación y rendimiento, así como de la actividad antifúngica contra hongos miceliares y levaduriformes, las mejores muestras son la colecta 1 procedente de Nueva Santa Rosa, Santa Rosa y la colecta 4 de el Jicaro, El Progreso, las que presentaron mejores resultados. Los resultados de toxicidad *in vitro* e *in vivo* demostraron que no presenta toxicidad y por tanto se puede obtener preparados seguros para su uso en la industria fitofarmacéutica. Esperamos continuar con la evaluación agrotecnológica y fitofarmacéutica para proponer el cultivar que tiene mejores posibilidades tenga para su desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrews F.S. 1981. Principios de horticultura. 3 Ed. México, D.F., Continental, 575 p.
- Azurdia C. 1995. Caracterización de algunos cultivos nativos de Guatemala. Instituto de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, USAC. 172 p.
- Brancato FP & Golding NS. 1983. The diameter of the mould colony as a reliable measure of growth. J. Mycol. 45:848-863.
- Burlingame EM & Reddish GP. 1973. Laboratory methods for testing fungicides used in the treatment of epidermophytoses. J. Lab. Clin. Med. 14:649-653.
- Cáceres A, Girón LM, Alvarado SR, Torres MF. 1987. Screening of antimicrobial activity of plants popularly used in Guatemala for the treatment of dermatomucosal diseases. J Ethnopharmacol. 20:223-237.
- Centro regional de ayuda técnica. 1965. Semillas; manual para análisis de su calidad. Trad. José Mesa. México, Edit. Herrero. 515 p.
- CYTED. 1993. Manual de Técnica de Investigación. Bogotá, Proyecto X-1, s/p.
- Delgado Giron FJ. 1984. Rendimiento y contenido de proteína de hierba Mora (*Solanum* sp.) a diferente número de días a cosecha y número de cortes. Tesis Ing. Agrónomo. Guatemala.

- Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 79 p.
- Girón I., Aguilar GA, Cáceres A, Arrollo GL. 1988. Anticandidal activity of plants used for the treatment of vaginitis in Guatemala and clinical trial of *Solanum nigrescens* preparation. J. Ethnopharmacol. 22:307-313.
- He XG, Mocek U, Floss HG Cáceres A, Girón LM *et al.* 1994. An antifungal compound from *Solanum nigrescens*. J. Ethnopharmacol. 43:173-177.
- Mae Rae WD, *et al.* 1988. Studies on the pharmacological activity of Amazonian Euphorbiaceae. J. Ethnopharmacol. 22:143-172.
- Mitscher LA *et al.* 1972. Antimicrobial agents from higher plants. 1. Introduction, rationale and methodology. Lloydia 35: 157-166.
- Mitscher LA, Darker S & Gollapudi A. 1987. A modern look at folkloric use a Anti-infective agents. J. Nat. Prod. 5: 1025-1041.
- Saravia, A. 2005. Métodos de ensayos toxicológicos y farmacológicos experimentales in vivo e in vitro. Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sperman Karber, 1956. In. D.J. Finney. Statistical Method in Biological Assay. Ch Griffin and Co London, pp 254.
- Solis PN (1993) Manual de caracterización y análisis de drogas vegetales y productos fitoterapéuticos. Guatemala OEA/AICD/Universidad de San Carlos de Guatemala, 132 p.
- Vanbrenseghem R, De Vroey C, Takashio M. 1970. Production of macroconidia by *Microsporum ferrugineum* OTA 1922. Sabouraudia 7:252-56.
- Vázquez Solorzano JA. 1984. Estudio del progreso germinativo en hierba mora (*Solanum* sp.). Tesis Ing. Agrónomo. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 181 p.
- Weaver RJ. 1976. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. México, Trillas. 622 p.
- Wagner H, Bladt S (1996) Plant drug analysis. Berlin. Springer-Verlag, 384 p.

Revista **Atikalia** se terminó de imprimir en el mes de mayo del 2009, en los talleres de Editora Arizandieta, con una tirada de 500 ejemplares en papel bond beige de 80 gramos.



tikalía

AUTORES:

Iván Dimitri Santos Castillo
César Luna

Eddi Alejandro Vanegas Chacón

José Pablo Prado Córdova
Uffe Strandby Andersen
Johannes Kollmann
Marten Sørensen
Charlotte Nielsen
Juan José Castillo
Álvaro Hernández

Davinson Riquett
Sully Cruz
Armando Cáceres
Vicente Martínez

Juan Carlos Fuentes Montepeque,
Elfego Odvin Orozco Fuentes

A. Cáceres, V. Martínez, AM. Paz,
M. Véliz, A. Saravia, I. Gaitán,
SM. Cruz, H. Ortiz, C. Teleguario,
M. Chigüichón

EDICIÓN:

Dennis Escobar Galicia

DISEÑO:

Hernán Guerra Sandoval



CONTENIDO

- 7 Evaluación de diferentes concentraciones de nitrógeno y potasio en solución hidropónica en el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), híbrido Dominique, en condiciones de invernadero.

Iván Dimitri Santos Castillo, César Luna

- 23 Abonos verdes: Una fuente de nitrógeno para la Agricultura Orgánica.

Eddi Alejandro Vanegas Chacón.

- 35 Producción comunal sostenible de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) para el mejoramiento del bienestar rural y la conservación biológica en el altiplano occidental de Guatemala.

José Pablo Prado Córdova, Uffe Strandby Andersen, Johannes Kollmann, Marten Sørensen, Charlotte Nielsen, Juan José Castillo, Álvaro Hernández.

- 55 Análisis por espectrometría de isovaltrato en extracto de hoja y raíz de valeriana (*Valeriana prionophylla* Standl.) cultivadas en dos localidades diferentes de Guatemala.

Davinson Riquett, Sully Cruz, Armando Cáceres, Vicente Martínez.

- 69 Análisis del ciclón tropical STAN en la cuenca del río Coyolate.

Juan Carlos Fuentes Montepeque, Elfego Odvin Orozco Fuentes.

- 85 Determinación fitoquímica y de actividad antifúngica de cultivares de *Solanum Americanum* Miller y caracterización de preparaciones para la industria fitofarmacéutica.

A. Cáceres, V. Martínez, AM. Paz, M. Véliz, A. Saravia, I. Gaitán, SM. Cruz, H. Ortiz, C. Teleguario, M. Chigüichón.