



TIKALIA

Volumen XXIII No. 2 2005

**FLORA
CON POTENCIAL
TINTÓREO**

TIKALIA, órgano de divulgación con aportes científico-tecnológicos en sistemas de producción agrícola y recursos naturales renovables, en este número contiene artículos elaborados por profesores e investigadores de la Facultad de Agronomía y de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, ambas unidades académicas de la Carolina. Además, uno de los artículos (el de la página 69) contó con la autoría de dos investigadores de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Los artículos incluidos en este número de TIKALIA son los siguientes:

"Detección de plantas utilizadas para el manejo y control de enfermedades fungosas en los principales cultivos alimenticios y evaluación preliminar de su actividad *in vitro*", de José Vicente Martínez Arévalo, Erick Estrada, Armando Cáceres, Gustavo Álvarez y Sergio Enrique García Batz.

"Pago por servicios ambientales: Análisis teórico de la iniciativa Fondo del Agua en Guatemala", de Marco Morales de la Cruz.

"Caracterización de aceites esenciales y evaluación de la actividad biocida de cinco especies nativas de *Piperaceae*", de Sully M. Cruz, Félix R. Véliz, María del Carmen Samayoa, Armando Cáceres, Isabel Gaitán, Ruth Molina G. y Luis Álvarez.

"El uso de surfactantes para aumentar la eficacia de herbicidas post-emergentes", de Ramiro Arnoldo López Pineda, Claudio Andrés Alister Herdener y Marcelo Kogan Alterman.

"Documentación de la flora con potencial tintóreo de la comunidad Pozo Seco, del municipio de Chisec, Alta Verapaz, Guatemala", de Grace Paola Arguijo M., Vicente Martínez y Constantino Reyes.



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

Vol. XXIII, No. 2



Guatemala
2005

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

Junta Directiva

Decano: Dr. Ariel Ortiz López
Secretario: Ing. Agr. Pedro Peláez
Vocal I: Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
Vocal II: Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes S.
Vocal III: Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Ávila
Vocal IV: MEPU: Élmer Antonio Álvarez Castillo
Vocal V: PMP: Miriam Eugenia Espinoza Padilla

Comité Editorial

Ing. Agr. Juan Herrera Ardón Ardón
Periodista: Dennis Escobar Galicia

Revista  **tikalía**

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

TIKALIA, órgano de divulgación con aportes científico-tecnológicos en sistemas de producción agrícola y recursos naturales renovables, este número contiene artículos elaborados por profesores e investigadores de la Facultad de Agronomía y de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, ambas unidades académicas de la Carolina. Además, uno de los artículos (el de la página 69) contó con la autoría de dos investigadores de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Los artículos incluidos en este número de TIKALIA son los siguientes:

“Detección de plantas utilizadas para el manejo y control de enfermedades fungosas en los principales cultivos alimenticios y evaluación preliminar de su actividad *in vitro*”, de José Vicente Martínez Arévalo, Erick Estrada, Armando Cáceres, Gustavo Álvarez y Sergio Enrique García Batz. Es una investigación de especies con actividad para el control de hongos fitopatógenos en dos fases: a) visitas al campo en cuatro regiones del país y entrevista con productores y organizaciones no gubernamentales; b) bioensayos y tamizaje fitoquímico de seis especies vegetales probadas en cuatro especies de hongos fitopatógenos.

“Pago por servicios ambientales: Análisis teórico de la iniciativa Fondo del Agua en Guatemala”, de Marco Morales de la Cruz. El estudio concluye en que dicha propuesta hace hincapié en el manejo de los recursos hídricos a escala de cuenca, y que ha surgido por la ausencia de un marco legal e institucional sólido a nivel nacional.

“Caracterización de aceites esenciales y evaluación de la actividad biocida de cinco especies nativas de *Piperaceae*”, de Sully M. Cruz, Félix R. Véliz, María del Carmen Samayoa, Armando Cáceres, Isabel Gaitán, Ruth Molina G. y Luis Álvarez. La investigación se justifica en virtud de que en Guatemala se descri-

ben unas 83 especies del género *Piper*, empero hay muy poca información química o farmacológica de las mismas.

“El uso de surfactantes para aumentar la eficacia de herbicidas post-emergentes”, de Ramiro Arnoldo López Pineda, Claudio Andrés Alister Herdener y Marcelo Kogan Alterman. El artículo define con precisión lo que significa el término surfactante. Aclara que para considerar a un producto como tal, éste debe cumplir con una característica primordial: mostrar una clara e importante actividad hipotensora.

“Documentación de la flora con potencial tintóreo de la comunidad Pozo Seco, del municipio de Chisec, Alta Verapaz, Guatemala”, de Grace Paola Arguijo M., Vicente Martínez y Constantino Reyes. En la región estudiada se encontraron 35 especies tintóreas que podrán ser utilizadas por la Asociación de Mujeres “Flor de la Montaña” en la coloración de tejidos de algodón.

Comité Editorial.

CONTENIDO

- 7 Detección de plantas utilizadas para el manejo y control de enfermedades fungosas en los principales cultivos alimenticios y evaluación preliminar de su actividad *in vitro*.

José Vicente Martínez Arévalo, Erick Estrada, Armando Cáceres, Gustavo Álvarez y Sergio Enrique García Batz.

- 25 Pago por servicios ambientales: Análisis teórico de la iniciativa Fondo del Agua en Guatemala.

Marco Morales de la Cruz.

- 51 Caracterización de aceites esenciales y evaluación de la actividad biocida de cinco especies nativas de *piperaceas*.

Sully M. Cruz V., Félix R. Véliz, María del Carmen Samayoa, Armando Cáceres, Isabel Gaitán, Ruth Molina G. y Luis Álvarez.

- 69 El uso de surfactantes para aumentar la eficacia de herbicidas postemergentes.

Ramiro Arnoldo López Pineda, Claudio Andrés Alister Herdener y Marcelo Kogan Alterman.

- 83 Documentación de la flora con potencial tintóreo de la comunidad Pozo Seco, municipio de Chisec, Alta Verapaz.

Grace Paola Arguijo M., Vicente Martínez y Constantino Reyes.

DETECCIÓN DE PLANTAS UTILIZADAS PARA EL MANEJO Y CONTROL DE ENFERMEDADES FUNGOSAS EN LOS PRINCIPALES CULTIVOS ALIMENTICIOS Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE SU ACTIVIDAD *IN VITRO*

José Vicente Martínez Arévalo
Erick Estrada
Armando Cáceres
Gustavo Álvarez
Sergio Enrique García Batz



*Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, Facultad
de Agronomía Universidad de San Carlos de Guatemala*

RESUMEN

Investigación de especies con actividad para el control de hongos fitopatógenos en dos fases: a) visitas al campo en cuatro regiones del país y entrevista con productores y organizaciones no gubernamentales; b) bioensayos y tamizaje fitoquímico de seis especies vegetales probadas en 4 especies de hongos fitopatógenos. En la fase de campo se logró sistematizar el conocimiento sobre el uso y formas de aplicación de plantas como fungicidas agrícolas de 19 especies vegetales: ajo (*Allium sativum* L.), apazote (*Teloxis ambrosioides* (L.) Weber), apacín (*Peltiveria alliaceae* L.), bambú (*Bambusa* spp.), bugambilia (*Bougainvillea* spp.), caña de castilla (*Arundo phragmites* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), chocón (*Wigandia urens* var. *caracasana* (HBK) Gibson) cola de caballo (*Equisetum* spp.), encino (*Quercus* spp.), flor de muerto (*Tagetes erecta* L.), hierba mora (*Solanum* spp.), jocote (*Spondias* spp.), manzanilla (*Matricaria recutita* L.), papaya (*Carica papaya* L.), sauce (*Salix bomplandiana* HBK), saúco (*Sambucus canadensis* L.).

sis L.), ruda (*Ruta chalepensis* L.), Brásicas (*Brassica* spp.); además algunas combinaciones entre ellas. En la región occidental (Sololá, Quetzaltenango y Totonicapán) se reportó el 42.4% de las especies; en la central (Sacatepéquez y Chimaltenango) el 24.2 %; en la oriental (Chiquimula y Jalapa) el 18.2% y en la región norte (Alta Verapaz) el 15.2%. Con relación a la actividad de las plantas probadas en los bioensayos, la ruda es la única especie que inhibe el crecimiento de las cuatro especies de hongos utilizados. El orégano y la albahaca son las plantas que después de la ruda, controlan el crecimiento de por lo menos tres de las cuatro especies de hongos fitopatógenos utilizados. El saúco y la cola de caballo no controlan del crecimiento de ninguna de las cuatro especies de hongos, en ninguna dilución. *Aspergillus* demostró ser la más resistente a la acción de infusiones y tinturas de cinco de las seis plantas utilizadas. La ruda fue la única que en una dilución 1:10 inhibió en crecimiento del mismo. *Colletotricum* fue la más susceptible a la acción de por lo menos cuatro de las seis plantas utilizadas en el estudio. *Oidium* y *Fusarium* mostraron una resistencia intermedia, a la acción de las diferentes tinturas e infusiones de por lo menos tres plantas. Los resultados indican que con la información generada, si se sigue trabajando en las subsiguientes fases y ampliando el número de especies, puede llegar al desarrollo de productos que puedan ser elaborados por los propios agricultores o bien por empresas locales dedicadas a la comercialización de insumos agrícolas orgánicos.

INTRODUCCIÓN

El control fitosanitario en los agroecosistemas del país se caracteriza por el alto uso de insumos sintéticos (pesticidas, herbicidas, insecticidas, etc.), que representa cerca de un 40% de los costos de producción. Estos productos tienen clara incidencia en lo económico, social y ambiental.

En la agricultura moderna se busca obtener un máximo beneficio reduciendo costos y utilizando productos poco residuales que causen el menor efecto al ambiente en especial al suelo y agua.

Cada vez más, se están realizando investigaciones para la búsqueda de agentes activos de origen natural que sean efectivos y a la vez amigables con el ambiente.

Para la reducción y manejo de poblaciones de insectos, hongos, bacterias y otros microorganismos, se pueden utilizar fuentes orgánicas provenientes de algunas especies vegetales, que contribuyan en el mantenimiento de los niveles de población por debajo del umbral económico y que a la vez no tengan residuos para que el producto sea aceptado, en especial en el mercado de los productos ecológicos.

En el caso del control de insectos a partir de extractos vegetales se cuenta con mayor experiencia (DuPont *et al.*, 1990), sin embargo el control de enfermedades fúngicas a partir de estas fuentes, está poco documentado.

Hay evidencia en el área rural que el uso de algunas especies vegetales solas o combinadas, son efectivas en el manejo de enfermedades de cultivos alimenticios (DuPont *et al.*, 1990).

Sin embargo, en varias ocasiones las experiencias no pueden ser reproducidas porque hay muchos factores que afectan la estabilidad de estos productos: la época de corte de la especie vegetal a usar, la calidad de agua utilizada en las aplicaciones, la cantidad precisa de material a utilizar, el manejo postcosecha, etc.

Todo ello limita que a partir de esas fuentes se elaboren productos comerciales que puedan ser más ampliamente utilizados.

El alto costo de los insumos para el tratamiento y control de enfermedades producidas por hongos y el creciente interés por la aplicación de la agricultura orgánica o ecológica en los sistemas de producción, en especial de pequeños productores, hace necesario el uso de insumos que estén acordes con este sistema de producción. De preferencia producidos en la misma finca, pero con técnicas que permitan la estabilización y estandarización, ya que la falta de esto ha limitado un más

amplio uso de estos productos, al no encontrar la manera de reproducirlos.

De tal forma que el campo de la elaboración de insumos agrícolas haciendo uso de los propios recursos, reduce costos y a la vez estimula la producción orgánica.

Para llegar a esto, es necesario en primer lugar realizar investigaciones de campo que permitan la sistematización del conocimiento popular, el cual debe ser llevado a nivel de laboratorio para comprobar su efectividad y a partir de ahí, plantear los posibles fungicidas orgánicos que en el futuro se puedan elaborar.

El uso inadecuado de productos fungicidas y sus consecuencias negativas en el ambiente hacen necesario la búsqueda de alternativas que ayuden al manejo y control de enfermedades de los cultivos.

Por otra parte, el auge que está tomando la agricultura ecológica implica que debe existir la tecnología para que a nivel de finca se elaboren productos fungicidas estabilizados o bien que en el mercado exista oferta de productos a base de principios orgánicos.

El empleo de extractos vegetales para el control de plagas y enfermedades en el marco de una agricultura sostenible constituye una alternativa promisorio, por su elevada efectividad, bajo costo y ser menos contaminantes del ambiente.

Estos bioproductos se caracterizan por la presencia de determinados compuestos de origen natural, los cuales forman parte de las estrategias defensivas de las plantas y por lo tanto es necesario evaluar la presencia de metabolitos secundarios específicos, que le confieran a la planta en estudio, actividad fungicida.

La experiencia de los agricultores en cuanto al manejo orgánico de sus cultivos es variada. Con relación a las especies

vegetales utilizadas en el manejo y control de hongos fitopatógenos no se han realizado estudios que ayuden a tener productos estandarizados que puedan ser producidos de manera artesanal, pero con resultados reproducibles o bien a nivel comercial.

Para tener una información básica sobre este tema en la presente investigación se realizaron dos fases: la primera una etapa de campo donde se sistematizó el conocimiento que sobre plantas utilizadas como fungicidas agrícolas se tiene en cuatro regiones del país, encontrándose 19 especies.

La segunda fase fue de laboratorio donde se estableció el protocolo para preparación de extractos, tamizaje fitoquímico y tamizaje microbiológico que debe seguirse para establecer si una planta tiene propiedades fungicidas.

En el futuro se debe seguir trabajando sobre estos resultados para llegar a obtener compuestos estandarizados que sean útiles para los agricultores.

METODOLOGÍA UTILIZADA

1. Fase de campo

Por medio de una boleta previamente elaborada, con el fin de recabar la información de las especies y formas de uso de plantas con actividad como fungicida, se entrevistaron agricultores y técnicos de campo en las siguientes regiones: occidental (Quetzaltenango, Totonicapán y Sololá); central (Chimaltenango y Sacatepéquez); norte (Alta Verapaz) y oriental (Chiquimula y Jalapa).

2. Fase de laboratorio

Partiendo de muestras colectadas en el campo de cultivos agrícolas, se aislaron y purificaron cepas de las siguientes especies de hongos fito-

patógenos: *Fussarium* spp, *Colletotrichum* spp, *Aspergillus* spp, *Oidium* spp.

Se probó la actividad sobre las especies de hongos fitopatógenos mencionados de las siguientes especies vegetales: cola de caballo (*Equisetum giganteum* L.); ruda (*Ruta chalapensis* L); orégano (*Lippia graveolens* HBK); albahaca (*Ocimum basilicum* L.), chocón (*Wigandia urens* var. *caracasana* (HBK) Gibson); y saúco (*Sambucus canadensis* L.).

2.1. Tamizaje antimicótico *in vitro*

Los ensayos consistieron en la realización del agar planta en diluciones de 1:10, 1:20, 1:40 y 1:80 para cada planta en estudio en los hongos fitopatógenos seleccionados. En éstas se realizó la inoculación de las cepas de hongos fitopatógenos.

2.2. Determinación de metabolitos secundarios en las especies vegetales.

Se realizó un análisis cualitativo para detectar la presencia de alcaloides, flavonoides, saponinas y antraquinonas, para procurar establecer preliminarmente aquellos que puedan ser responsables de la actividad antifúngica en hongos fitopatógenos.

RESULTADOS

1. Fase de campo

En las cuatro regiones del país encuestadas en este estudio, se reportó el uso de 19 especies de plantas fungicidas, utilizadas en diferentes cultivos, principalmente en hortalizas, estos datos se consignan en el Cuadro 1.

Las especies se utilizan de manera individual o en combinación con otra especie o con algún otro compuesto como ceniza u orín.

Las plantas fungicidas corresponden a 16 familias botánicas, las familias que con mayor frecuencia se reportan son: *Asteraceae*, *Salicaceae* y *Liliaceae*. La mayoría de estas plantas son recolectadas. En

este estudio se encontró que el 91% de los entrevistados sólo la colecta y la utiliza y el 9% restante la cultiva. Siendo importante que estas especies se cultiven para tener la certeza de la calidad de planta que están utilizando.

Esto también explica uno de los problemas que se plantean en este estudio, como lo es la reproducibilidad de resultados, ya que en muchas ocasiones el efecto no es similar porque la fuente vegetal es variable y no hay parámetros que indiquen la mejor época de corte, el estado fenológico de la planta y otros aspectos.

En la región de Occidente, se reportó el uso de 14 especies de plantas (42.4%). De estas hay varias que son de uso específico en la región y no fueron mencionadas en las otras regiones, siendo éstas: apazote, bugambilia, chocón y hierba mora.

Las combinaciones de cebolla + flor de muerto, chile chiltepe + ajo, cola de caballo + papaya y flor de muerto + ruda, son aplicadas en la región de Occidente. Esta región reporta el mayor número de especies fungicidas, esto parece estar relacionado con el tipo de agricultura que se desarrolla, tamaño de parcelas de producción y la presencia de organizaciones de base.

La región central, reporta el uso de 8 especies fungicidas (24.2%). Las especies específicas de uso en esta región son: ajo, caña de castilla, cebolla, encino o roble y especies del género *Brassica*.

Esta última corresponde a un programa del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), conocido como biofumigación, y su efecto es el de control de hongos del suelo previo al establecimiento del cultivo de interés, utilizando los desperdicios de la cosecha de las Brásicas en especial de brócoli, repollo y coliflor, que se cultivan intensivamente en el altiplano central.

En la región oriental se reportaron 6 especies vegetales como fungicidas (18.2%). Las especies específicas de uso en esta región son: apacín, flor de muerto y papaya.

En la región norte, se reporta el uso de 5 especies (15.2 %). Las especies específicas de uso son: bambú y la combinación cola de caballo + manzanilla.

En esta región existen varias organizaciones trabajando con el enfoque orgánico, sin embargo el uso de plantas fungicidas reportado fue el más bajo comparado con las otras regiones.

De las 19 especies de plantas de uso popular para el control de enfermedades fungosas, algunas son utilizadas en regiones específicas como el caso del apacín y apazote. Otras especies son utilizadas en varias regiones como el sauce, cola de caballo, manzanilla, cebolla + ajo.

El uso de determinada especie en una región está influenciado por la presencia de organizaciones no gubernamentales, por la disponibilidad de material vegetal y el cultivo presente en la zona.

Otras especies fungicidas reportadas en la literatura

Existe un número considerable de especies vegetales con propiedades fungicidas según la literatura.

Por ejemplo, Rodríguez (2001), indica que en Costa Rica se cuenta con 82 especies de 68 familias botánicas.

Las familias que reportan mayor número de especies son: *Solanaceae* (7.3%), *Papilionaceae* (5.9%), *Euphorbiaceae* (5.9%), *Asteraceae* (4.4%), *Liliaceae* (2.9) y *Meliaceae* (2.9%).

También en la base de datos de NAPRALET del Program for Collaborative Research in the Pharmaceutical Sciences de la Universidad de Illinois de Chicago se reportan a nivel mundial más de 1000 especies. Lo que significa que en este campo hay mucho por investigar a nivel de Guatemala.

Cuadro 1. Especies vegetales encontradas en el presente estudio en las diferentes regiones muestreadas.

Nombre	Nombre científico	Familia	Ocidente	Central	Oriente	Norte
Ajo	<i>Allium sativum</i> L.	Liliaceae		X		
Azapote	<i>Teloxis ambrosioides</i> (L.) Weber	Chenopodiaceae	X			
Apacin	<i>Petiveria alliacea</i> L.	Phytolaccaceae			X	
Bambú	<i>Bambusa</i> spp.	Poaceae				X
Bugambilia	<i>Bougainvillea</i> spp.	Nyctaginaceae	X			
Caña de castillo	<i>Arundo phragmites</i> L.	Poaceae		X		
Cebolla	<i>Allium cepa</i> L.	Liliaceae		X		
Chocón	<i>Wigandia torens</i> var. <i>caracasana</i>	Hydrophyllaceae	X			
Cola de caballo	<i>Equisetum</i> spp.	Equisetaceae	X	X		
Encino o roble	<i>Quercus</i> spp.	Fagaceae		X		
Flor de muerto	<i>Tagetes erecta</i> L.	Asteraceae			X	
Hierba mora	<i>Solanum</i> spp.	Solanaceae	X			
Jacote	<i>Spandias</i> spp.	Anacardiaceae	X			X
Manzanilla	<i>Marricaria recutita</i> L.	Asteraceae	X	X		
Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	Caricaceae			X	
Sauce	<i>Salix bomplandiana</i> HBK.	Salicaceae	X		X	
Salico	<i>Sambucus canadensis</i> L.	Caprifoliaceae	X	X		
Cebolla + ajo	<i>Allium cepa</i> L. + <i>Allium sativum</i> L.		X	X		X
Cebolla + flor de muerto	<i>Allium cepa</i> + <i>Tagetes erecta</i> L.		X			
Chile chilipe + ajo	<i>Capiscum annuum</i> L. + <i>Allium sativum</i> L.		X			
Cola de caballo + manzanilla	<i>Equisetum</i> spp. + <i>Marricaria recutita</i> L.					X
Cola de caballo + papaya	<i>Equisetum</i> spp. + <i>Carica papaya</i> L.		X			
Flor de muerto + ruda	<i>Tagetes erecta</i> L. + <i>Ruta chalepensis</i> L.		X			
Residuos cosecha de Brassicaceae	<i>Brassica</i> spp.	Brassicaceae		X		
	Frecuencia		14	8	6	5

El uso principal de las 19 especies con propiedades fungicidas reportadas en este estudio, es para el control de manchas foliares, mildiú, cenizas, mal del talluelo, tizón tardío, roya, fumagina y hongos del suelo.

Para el control de hongos del suelo, un método que se ha estado investigando bastante es de biofumigación, donde se reporta que además del control de hongos en el suelo, se controlan nematodos parásitos y se incrementan las poblaciones de nematodos benéficos.

También con la biofumigación se controlan malezas y se mejora la fertilidad del suelo.

Los cultivos en los que se aplican los fungicidas vegetales son con mayor frecuencia hortalizas como tomate, frijol, papa, chile, brócoli, zanahoria, guicoy, acelga, lechuga, haba y remolacha.

En menor intensidad en café, frutales como cítricos, mango, semilleros de especies forestales (pino, aliso, ciprés, gravilea e ilamo) y rosa de jamaica.

Forma de preparación

La forma de preparar los fungicidas vegetales principalmente es por decocción y contacto acuoso (agua) por un intervalo de tiempo.

Con decocción se reporta intervalos de tiempo de 10 minutos hasta 30 minutos, en punto de ebullición. Hasta 30 minutos de decocción aparentemente no se reporta pérdida de las propiedades fungicidas del vegetal.

En el caso del procedimiento de contacto acuoso (material vegetal / agua) se reportan intervalos de 24 horas hasta 15 días variando el tiempo por el tipo de material y región geográfica. No se reportó el uso de otros solventes como el caso de alcohol, para extractos insolubles en agua.

Las dosis utilizadas para una misma especie en diferentes regiones del país no es la misma, como el caso de manzanilla, sauce, cebolla + ajo. a variación de dosis cambia por el tipo de cultivo en el que se aplica y criterio de aplicación del productor. Las relaciones observadas de fungicida vegetal solvente se encontró entre los rangos de 0.12:16; 1:16 hasta 4:4.

1. Fase de laboratorio

2.1 Bioensayos

Cuadro 2. Resultado de los bioensayos sobre inhibición de cuatro hongos fitopatógenos por medio de extractos vegetales de seis especies.

	Albahaca	Cola de caballo	Chocón	Ruda	Saúco	Orégano
Saponinas	+	+	-	+	-	-
Taninos	+	+	-	+	+	+
Alcaloides	+	+	+	+	+	+
Flavonoides	+	+	-	+	+	+
Antraquinonas	+	+	+	+	+	+
Principios amargos	-	+	+	-	+	+
Cumarinas	-	-	¿	+	¿	-

Interpretación: xxxx = inhibición total en 1:10;1:20;1:40. xxx = inhibición total en 1:10; 1:20. xx = inhibición en 1:10. x = inhibición parcial en todas las concentraciones.

1.1. Tamizaje fitoquímico

Cuadro 3. Resultado del tamizaje fitoquímico de infusiones de seis especies vegetales con propiedades fungicidas para hongos fitopatógenos.

	Albahaca	Cola de caballo	Chocón	Ruda	Saúco	Orégano
Saponinas	+	+	-	+	-	-
Taninos	+	+	-	+	+	+
Alcaloides	+	+	+	+	+	+
Flavonoides	+	+	-	+	+	+
Antraquinonas	+	+	+	+	+	+
Principios amargos	-	+	+	-	+	+
Cumarinas	-	-	¿	+	¿	-

(+) presencia; (-) ausencia; (¿) no determinado

Cuadro 4. Resultados del tamizaje fitoquímico de tinturas de seis especies vegetales con propiedades fungicidas para hongos fitopatógenos.

	Albahaca	Cola de caballo	Chocón	Ruda	Saúco	Orégano
Saponinas	+	+	-	+	-	-
Taninos	-	+	-	+	+	+
Alcaloides	+	+	+	+	+	+
Flavonoides	+	+	-	+	+	+
Antraquinonas	+	+	+	+	+	+
Principios amargos	-	+	+	-	+	+
Cumarinas	-	-	±	+	±	-

(+) presencia; (-) ausencia; (±) no determinado

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La encuesta de campo arrojó resultados interesantes en el campo de las especies utilizadas como fungicidas agrícolas.

En primer lugar hay una confusión de entrada, muchas personas inicialmente hacen referencia a las plantas utilizadas como insecticidas, de las cuales aparentemente hay bastante información.

El uso de las especies vegetales como fungicidas agrícolas es complejo, porque la acción muchas veces no es comprendida a cabalidad.

Varios de los agricultores que hacen uso de plantas para el control de hongos fitopatógenos mencionaron que para obtener resultados satisfactorios, se debe hacer un programa integral de manejo, donde la nutrición del vegetal juega un papel importante, y señalaron que algunas de las especies vegetales además de su efecto como fungicida tiene un efecto de abono foliar que contribuye a que el cultivo sea más tolerante a las enfermedades.

De tal forma que la comprensión del efecto que estas plantas tengan sobre los cultivos no es específica sólo de principios activos que controlen hongos, sino que su explicación está más en el campo de la fisiología vegetal.

Con relación al origen del conocimiento adquirido del uso de plantas como fungicidas, se indicó que se ha obtenido por capacitaciones: en un caso por pruebas de campo y otros pocos por transmisión del conocimiento de sus ancestros.

En muchos casos, el papel que la organización Alternativa Tecnológica (ALTERTEC) desarrolló principalmente en la década de los años ochenta, es la referencia que muchos agricultores proporcionan.

Esto indica que para el caso de plantas utilizadas como fungicidas, para la mayoría de plantas se carece de un conocimiento antiguo, lo cual también se correlaciona con que la mayoría de plantas reportadas son introducidas.

Con respecto a los bioensayos, se realizó una prueba presuntiva de actividad antifúngica, la cual consistió en impregnar discos de papel filtro con cada una de las infusiones y tinturas de las seis plantas, utilizando tres diluciones 1:10, 1:20, 1:40, respectivamente.

Posteriormente, se realizó la inoculación de una porción de agar, conteniendo micelio de las cuatro especies de hongos aisladas, purificadas e identificadas. Procurando que esta porción de agar de tamaño homogéneo (0.3 cm² aproximadamente), se "sembrara" en el centro de la caja.

Veinticuatro horas después de la inoculación, se observó el crecimiento y desarrollo de micelio en cada una de las cajas. Se observaron algunos resultados importantes desde el inicio, y se le dio seguimiento a la lectura con intervalos de 24 horas.

Después de 3 días ya se tenían resultados cualitativos de algunas de las cepas, especialmente de *Aspergillus* y *Fusarium* que tienen la característica de ser cepas altamente invasivas y de crecimiento rápido.

Esto es de gran ayuda ya que en poco tiempo se pueden tener resultados preliminares. Otra ventaja es que el costo de la prueba es relativamente bajo, y los resultados son bastante confiables.

Se tomó como positivo el efecto antifúngico cuando el micelio se desarrollaba únicamente en el área dentro del anillo de papel impregnado.

Esa conducta fue la que se observó en algunas pruebas. Algunos hongos crecían más allá del diámetro interno del anillo, por lo que se consideraba este como un resultado negativo, ya que la presencia de la tintura o infusión no inhibía el crecimiento de micelio.

Los resultados obtenidos mediante este método se confirman con el método que utiliza soluciones de esporas de concentración conocida, que son inoculadas en un volumen constante en "pozos" dispuestos en cajas llenas de "agar-planta", las cuales son una mezcla de agar nutritivo Sabouraud con cada una de las tinturas e infusiones de las seis plantas en estudio, cada una en tres diferentes concentraciones 1:10, 1:20, 1:40.

Siendo este un bioensayo confirmatorio más confiable, ya que mantiene constantes las cantidades de esporas que se inoculan en cada uno de los pozos. Estas soluciones son previamente filtradas para eliminar patógenos indeseables.

Los bioensayos mostraron que la ruda es la especie que presenta la mayor actividad fungicida, ya que inhibe el crecimiento de micelio de las cuatro cepas utilizadas.

Las especies que le siguen en poder inhibitorio son la albahaca y el orégano, y por último, el chocón.

Las especies que no inhibieron en absoluto el micelio de las especies de hongos utilizadas fueron saúco y cola de caballo.

En el futuro una de las especies a seguir trabajando es la ruda, ya que inhibió el crecimiento de micelio de las cuatro cepas en las tres diluciones utilizadas.

En cuanto a las cepas de las especies de hongos fitopatógenos probadas, se notó que las especies más susceptible al efecto de las diferentes tinturas e infusiones fue la de *Colletotrichum*, seguida por las de *Oidium* y *Fusarium*. Y la que presentó más resistencia frente al efecto antifúngico fue *Aspergillus*, que únicamente fue inhibida por la ruda.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En las regiones del país muestreadas en este estudio, se reportó el uso de 19 especies de plantas para el control de enfermedades fungosas. Las plantas son: ajo (*Allium sativum* L.), apazote (*Teloxis ambrosioides* (L.) Weber), apacín (*Petiveria alliaceae* L.), bambú (*Bambusa* spp.), bugambilia (*Bougainvillea* spp.), caña de castilla (*Arundo phragmites* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), chocón (*Wigandia urens* var. *caracasana* (HBK) Gibson) cola de caballo (*Equisetum* spp.), encino o roble (*Quercus* spp.), flor de muerto (*Tagetes erecta* L.), hierba mora (*Solanum* spp.), jocote (*Spondias* spp.), manzanilla (*Matricaria recutita* L.), papaya (*Carica papaya* L.), sauce (*Salix bomplandiana* HBK), saúco (*Sambucus canadensis* L.), ruda (*Ruta chalepensis* L.), y Brásicas (*Brassica* spp.).
2. Las combinaciones reportadas son: cebolla + ajo, cebolla + flor de muerto, chile chiltepe + ajo, cola de caballo + manzanilla, cola de caballo + papaya y flor de muerto + ruda.
3. En la región occidental fue donde se reportó mayor cantidad de plantas usadas funguicidas agrícolas (42.4 %), comparado con las regiones central (24.2 %), oriental (18.2%) y norte (15.2%).
4. Las enfermedades fungosas que mayormente se controlan con el uso de extractos vegetales son: manchas foliares, mildius, cenicillas, mal del talluelo, tizón tardío, roya, fumagina y hongos del suelo.
5. Los cultivos en los que se aplican los extractos vegetales son, con mayor frecuencia en hortalizas como tomate, frijol, papa, chile, brócoli, zanahoria, güicoy, acelga, lechuga, haba y remolacha. En menor intensidad en café, frutales como cítricos, mango, semilleros de especies forestales (pino, aliso, ciprés, gravilea, ilamo) y rosa de jamaica.
6. La forma popular de preparar los fungicidas vegetales, principalmente es por decocción y contacto acuoso. En el caso de decocción se reporta intervalos de tiempo de 10 minutos hasta 30 minutos, en punto de ebullición. En el caso del procedimiento de contacto acuoso, se reportan intervalos de 24 horas hasta 15 días.

7. Las dosis utilizadas varían de una región a otra, es afectada por el tipo de cultivo en el que se aplica y criterio de aplicación del productor. En las dosis de aplicación, las relaciones observadas de fungicida vegetal –solvente fue de 0.12:16; 1:16 hasta 4:4.
8. Con relación a la actividad de las plantas probadas en los bioensayos, se puede indicar que la ruda es la única planta que inhibe el crecimiento de las cuatro cepas de hongos utilizados en el estudio. El orégano y la albahaca son las plantas que después de la ruda, controlan el crecimiento de por lo menos tres de las cuatro cepas de hongos fitopatógenos utilizados. El saúco y la cola de caballo, no controlan el crecimiento de ninguna de las cuatro cepas utilizadas, en ninguna dilución.
9. La cepa identificada como *Aspergillus* demostró ser la más resistente a la acción de infusiones y tinturas de cinco de las seis plantas utilizadas en las tres diluciones utilizadas (1:10; 1:20; 1:40), siendo la ruda la única que en una dilución 1:10 inhibió el crecimiento del mismo. La cepa identificada como *Colletotricum* fue la más susceptible a la acción de por lo menos cuatro de las seis plantas utilizadas en el estudio. Las cepas *Oidium* y *Fusarium* mostraron una resistencia intermedia, a la acción de las diferentes tinturas e infusiones de por lo menos tres plantas.
10. Se recomienda darle mantenimiento a las cepas de hongos asiladas, y realizar nuevos aislamientos para enriquecer el cepario de hongos fitopatógenos para estudios posteriores.
11. Con las plantas que presentan potencial antifúngico, sería interesante ensayarlas con diferentes extractos etanólicos, con la respectiva partición por solventes y posible elucidación de estructura química responsable de la actividad.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al apoyo financiero de la Dirección General de Investigación (DIGI) de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Fue ejecutado durante el año 2005 dentro del Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial (PUIDI).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agrios, G. 1996. Fitopatología. Trad. Por Manuel Guzmán. Editorial Limusa. México. 838 p.
2. Agrios, G. 1991. Manual de Enfermedades de las plantas. México, Ediciones Ciencia y Técnica, p. 201 - 220.
3. DuPont, M.; Solórzano, R. y Castillo, H. 1990. Preparación y uso de plaguicidas naturales. 1990. Altertec. Guatemala. 87 p.
4. García, J.; Martínez, V. y Álvarez, G. 2000. Enfermedades provocadas por hongos al follaje de veinte especies de plantas medicinales. Inversiones para la Paz. Guatemala. 30 p.
5. Harborne, J.B. 1984. Phytochemical Methods (A guide to modern techniques of plant analysis), Chapman & Hall Ltd. New York, páginas 20-130.
6. Porras, S. y Ortiz, J.F. 2000. Capítulo IV. Insumos para la Producción Ecológica. Colombia. Pp.147-196.
7. Rodríguez, E. 1997. Enfermedades de importancia económica causadas por hongos fitopatógenos. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Subárea de Protección de Plantas. 86 p.
8. Rodríguez, H. 2001. Plantas Plaguicidas en Costa Rica. Traducción y adaptación a Costa Rica, del trabajo realizado por Michael Grainge y Saleem Ahmed. Primera edición. Editorial Universitaria Nacional Heredia, San José, Costa Rica. 154 p.
9. Salazar, J. 1996. Evaluación de productos botánicos, para el control de la cenicilla (*Oidium* sp.) en el pericón (*Tapetes lucida* Cav.) en la aldea Las Vegas, Atescatempa, Jutiapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. 67 p.

PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES: Análisis teórico de la iniciativa Fondo del Agua en Guatemala

*Marco Morales de la Cruz**



RESUMEN

El contexto internacional aboga por el manejo sostenible y la conservación de los recursos naturales y el ambiente. Las herramientas de carácter económico han sido una respuesta de la comunidad científica para afrontar los retos del desarrollo sostenible, y dentro de ellas en Latinoamérica han destacado los esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Se presentan los antecedentes y conceptos de dicha herramienta económica, como marco para analizar la iniciativa Fondo del Agua, un esquema PSA propuesto en Guatemala. Se incluye la descripción de las actividades realizadas a la fecha contrastándolas con las recomendaciones o teoría que señala la literatura pertinente, procurando además de análisis comparativo, lograr aportes, propuestas o consideraciones útiles para quienes siguen trabajando en el diseño de la iniciativa Fondo del Agua en Guatemala.

ANTECEDENTES

Gran interés han despertado los esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) alrededor del mundo, pero especialmente en Latinoamérica. Según Mayrand & Paquin (2004) se pueden contar más de 300 esquemas de PSA en el mundo. El contexto político, socioeconómico y ambiental internacional ha propiciado este tipo de propuestas, en especial,

en países en desarrollo, donde se han evidenciado mermas significativas en el porcentaje del presupuesto nacional destinado al desarrollo rural y el manejo y conservación del ambiente y los recursos naturales, durante los años 90 (Csaki, 2003; Gutman, 2003).

En Centro América el huracán Mitch de 1998 fue el fenómeno condicionante de la receptividad a estas iniciativas. Países como Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica destacan por la aplicación del esquema PSA; cabe mencionar que las experiencias más avanzadas y difundidas son las costarricenses. En el resto de Latinoamérica destacan experiencias de iniciativas PSA en países como México, Colombia y Ecuador.

¿QUÉ SON LOS PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES?

Para entender el razonamiento detrás de los PSA existentes, Gutman (2003) señala que muchos esquemas de manejo sostenible de recursos naturales no son económicamente viables porque una parte sustancial de lo que deben proveer son servicios ambientales que no se pagan y que contabilizando y pagando por esos servicios, la estrategia de manejo puede ser mucho más atractiva y recompensada por quienes asumen los costos de ello, particularmente la gente pobre del área rural.

Se han propuesto diversos esquemas o definiciones de los PSA (ninguno de ellos con un claro dominio sobre los otros) que en general se adaptan a las particularidades locales en donde se aplican. Distintas publicaciones presentan estudios de caso o recomendaciones relacionados con los PSA (Pagiola et.al., 2005; Zbinden & Lee, 2005; Mayrand & Paquin, 2004; Gutman, 2003; Csaki, 2003; Chomitz et.al., 1996, 1999; Alix, et.al., 2003; The World Bank, 2004), y coinciden al señalar que aún existen importantes incertidumbres en sus fundamentos teóricos, en sus impactos en la conservación y manejo sostenible de recursos naturales y ambiente y destacan la discusión existente sobre el impacto en el desarrollo rural o reducción de la pobreza.

El PSA se ha propuesto en México o Costa Rica como un esquema en donde a partir de un acuerdo previo, las *comunidades* o los *propieta-*

rios privados del bosque reciben dinero a cambio de que manejen sosteniblemente y conserven el recurso forestal (Alix et.al., 2003; Zbinden & Lee, 2005).

Pagiola et.al. (2004) y Pagiola & Platais (2002) hablan de programas de PSA para capturar parte de los beneficios derivados de los servicios ambientales y canalizarlos a los *administradores* o *proveedores* de tales recursos naturales que generan los servicios, como incentivo para conservarlos.

Por su parte Mayrand & Paquin (2004) señalan transferencias de recursos financieros de quienes se benefician o reciben los servicios ambientales hacia *quienes los proveen* o son *fiduciarios* de los recursos ambientales o sus usuarios o las comunidades que están *en condiciones de proporcionar servicios ambientales*. En todo caso el esquema procura internalizar los beneficios recibidos por los servicios ambientales; de esta manera, el enfoque de PSA es idéntico al principio de que “el que contamina, paga” al crear incentivos positivos para la protección ambiental y la conservación.

La diversidad de esquemas propuestos no termina de clarificar cuestiones importantes para su aplicación, entre ellas, la amplitud de figuras que pueden adoptar tanto los que pagan los PSA como quienes los reciben.

FAO & REDLACH (2004) señalan que una de las limitantes más importantes para la implementación de un sistema de PSA son los altos costos de transacción, por ejemplo, de los estudios biofísicos, de valoración y para instalación del sistema. Otra limitante son los largos plazos en que se manifiestan los cambios en los variables ambientales.

Los sistemas de PSA de alcance local tienen un mayor impacto en el logro de objetivos a corto plazo que sistemas con alcance nacional o global (FAO & REDLACH, 2004). Recientemente algunos PSA han querido venderse como la nueva solución al financiamiento de propuestas de manejo sostenible de recursos naturales, pero las evidencias sugieren que se debe tener una actitud más cuidadosa (Gutman, 2003).

Los sistemas PSA abren espacios de negociación y permiten la compensación entre protectores o productores ambientales y consumidores ambientales. Por lo tanto, pueden servir como plataformas de resolución de conflictos entre estos actores. En zonas con conflictos entre los actores, el éxito de la aplicación de PSA depende notablemente del funcionamiento del marco institucional (FAO & REDLACH, 2004).

LOS PSA EN LA TEORÍA DE MERCADO

Los mercados no trabajan como ordenadores eficientes si ciertas características del recurso están en evidencia. El agua es fugitiva, reutilizable, es un recurso abastecido estocásticamente que tiene muchas características de un recurso de propiedad común y un bien público. Su desarrollo tiene economías de escala obvias. Por estas razones, el agua necesita ser vista como un recurso que debe ser manejado administrativamente (Gibbons, 1986).

Estos esquemas tienden a funcionar mejor cuando el valor de los servicios ambientales para los beneficiarios es alto y el costo de proporcionarlos es bajo. Los mercados para los servicios ambientales varían en alcance geográfico, solidez y estructura de la demanda, competitividad, naturaleza y precio de los productos vendidos y el número de las transacciones. En términos generales y a partir de la revisión de los mercados de servicios ambientales, parece que los mercados locales están mejor definidos que los globales, lo que permite mayor precisión en la definición y valoración de los servicios. Ello puede conducir a esquemas de pago con optimización de costos que atribuyen un valor de los servicios próximo a los beneficios marginales (Mayrand & Paquin, 2004)

Externalidades de los servicios ambientales

Uno de los métodos más utilizados en los últimos tiempos es la introducción de los servicios ambientales al sistema de mercado. Los mercados son afectados por la existencia de fallas como la competencia imperfecta, derechos de propiedad mal definidos o no existentes y bie-

nes y servicios que por su naturaleza no poseen precio en el mercado (Abad, 1997).

Se tienen por un lado servicios ambientales que no poseen un “precio” para su transacción en un mercado y que en su mayoría son catalogados como bienes públicos, por lo que son *no excluyentes* y *no rivales* (cualquier persona tiene acceso a ellos); aunque poseen un “valor”, este no es observable en el mercado, su precio efectivo parece ser “cero”. Conviendo con dichos servicios ambientales están los usos del recurso con un alto grado de exclusión y rivalidad. Se ocasiona por tanto que se eleve la demanda de usos y con ello impedimentos importantes para que el sector privado la satisfaga, porque no es fácil imponer un cobro a los beneficiarios¹.

Internalizando los servicios hidrológicos

Respecto a esto, Núñez (2003) hace referencia a los siguientes aspectos:

El bosque provee servicios ambientales que son usados por la sociedad para las diferentes actividades humanas. Estas externalidades positivas deben ser compensadas por la sociedad, es decir deben ser internalizadas para su mantenimiento sostenido y para ello se utilizan las herramientas que provee la economía ambiental, como es la valoración económica que permite otorgar un valor parcial a bienes y servicios que no poseen un precio en el mercado.

El internalizar el valor del recurso hídrico significa que los actores involucrados contribuyan a las actividades de conservación y manejo. Sin embargo, los marcos legales e institucionales, así como un sistema de incentivos apropiados para la conservación y manejo sostenible, no se han desarrollado o no son funcionales para poder trabajar con estos grupos de interés.

En este sentido, es clave establecer sistemas o mecanismos que permitan determinar quien paga, que se paga y por qué, y que permitan

la captación de recursos financieros. El manejo, captación y asignación de los recursos puede hacerse a través de diferentes mecanismos como fondos de agua, fundaciones, fideicomisos, y otros instrumentos financieros. Además, podrían diseñarse otro tipo de instrumentos como tarifas de ingreso para realizar ecoturismo, establecimiento de fianzas ecológicas para actividades extractivas, como el caso de proyectos de extracción minera y de extracción maderera en el área.

DISEÑO DE LOS PSA

Considerando la alta variedad de esquemas de pagos por servicios ambientales que se han señalado, sus diseños estarán condicionados por las experiencias incipientes y el conocimiento de los avances recientes en la materia. Aún más, las incertidumbres en aspectos fundamentales de los PSA plantean también múltiples retos para los entes que buscan operar estos esquemas.

Se han realizado diversas revisiones sobre los esquemas PSA impulsados en diversos países, sobre todo en Latinoamérica (FAO & REDLACH, 2004; IUCN, 2002; Landell-Mills & Porras, 2002; Mayrand & Paquin, 2004; Pagiola et.al., 2002; WWF Perú, 2002) y son referencia obligada para conocer avances en la materia y obtener elementos útiles en su diseño. Aunque se coincide en que la multiplicidad de esquemas existentes y la necesidad de que sean flexibles para adaptarse a condiciones locales, hace imposible dar pautas a seguir; no obstante, el Cuadro 1 recoge algunas recomendaciones generales proporcionadas por algunos autores para proveer una visión panorámica del tema.

Cuadro 1. Recomendaciones o guías generales de los Esquemas PSA en Latinoamérica.

[illegible]

En cuanto al diseño de los incentivos, los PSA no necesariamente involucran pagos de dinero en efectivo, sino pueden ser incentivos fiscales, crédito o algún otro tipo. Los incentivos brindados por un sistema de pago por servicios ambientales pueden ser individuales o colectivos (FAO & REDLACH, 2004).

Identificación de servicios ambientales

Los ecosistemas proveen una amplia variedad de servicios, por lo que el reto inicial en el desarrollo de un esquema de PSA es definir, medir y cuantificar los servicios ambientales que han de generarse con el sistema y establecer cuáles de ellos pueden en la práctica internalizarse en las transacciones de mercado. Los modelos de PSA se han centrado en cuatro servicios ambientales: servicios hídricos, secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad o de la belleza del paisaje (Gutman, 2003; Landell-Mills & Porras, 2002; Mayrand & Paquin, 2004; Pagiola & Platais, 2002).

ANÁLISIS DE LA INICIATIVA FONDO DEL AGUA

El esquema PSA de Guatemala a analizar se denomina “Fondo del Agua del Sistema Motagua – Polochic” y cuyo objetivo es garantizar de manera flexible y efectiva un uso sostenible de los recursos hídricos, así como la conservación y mitigación de amenazas a la biodiversidad en el Sistema Motagua-Polochic², a través de financiamiento de acciones concretas de mejoramiento de la utilización del agua, conservación y compensación a propietarios de bosques (Alvarado & Núñez, 2004; FDN & PODOCARPUS, 2003; Núñez, 2003).

La meta final de estas acciones es poder contribuir a la conservación de los recursos y ecosistemas forestales, de agua dulce y marino costeros en los drenajes del Caribe Guatemalteco, así como promover el bienestar socio-económico de las poblaciones locales (Núñez, 2003).

Del análisis de metas y objetivos del Fondo del Agua (Núñez, 2003), se observa que la promoción del bienestar socioeconómico de poblaciones locales va de la mano del fortalecimiento de la organización local (creación de comités de cuenca), la mediación y resolución de conflictos vinculados a la problemática del agua (bondad de los PSA señalada por FAO & REDLACH, 2004), fortalecimiento de capacidades técnicas y financieras entre usuarios locales para asegurar mejores prácticas en uso de recursos hídricos y de suelos en el área focal del proyecto.

El Fondo del Agua ha sido fomentado desde el año 2003 por la Fundación Defensores de la Naturaleza, una entidad ambiental de mucho prestigio en Guatemala. Dicho esquema PSA es un mecanismo técnico-financiero, organizado como Fundación y operado financieramente como Fideicomiso, que integra los intereses, aportes y representatividad de los usuarios del agua del Sistema Motagua – Polochic (Alvarado & Núñez, 2004).

Debido a la evolución que ha tenido la propuesta “Fondo del Agua”, en este documento se hará hincapié en el análisis del diseño de PSA a impulsar en el sistema Motagua - RBSM, es decir, el de la parte sur de la Sierra de las Minas (FDN & PODOCARPUS, 2003), con usuarios de los servicios ambientales ubicados en el Valle del Motagua (Figura 1), como estrategia inicial para impulsar el PSA en la región.

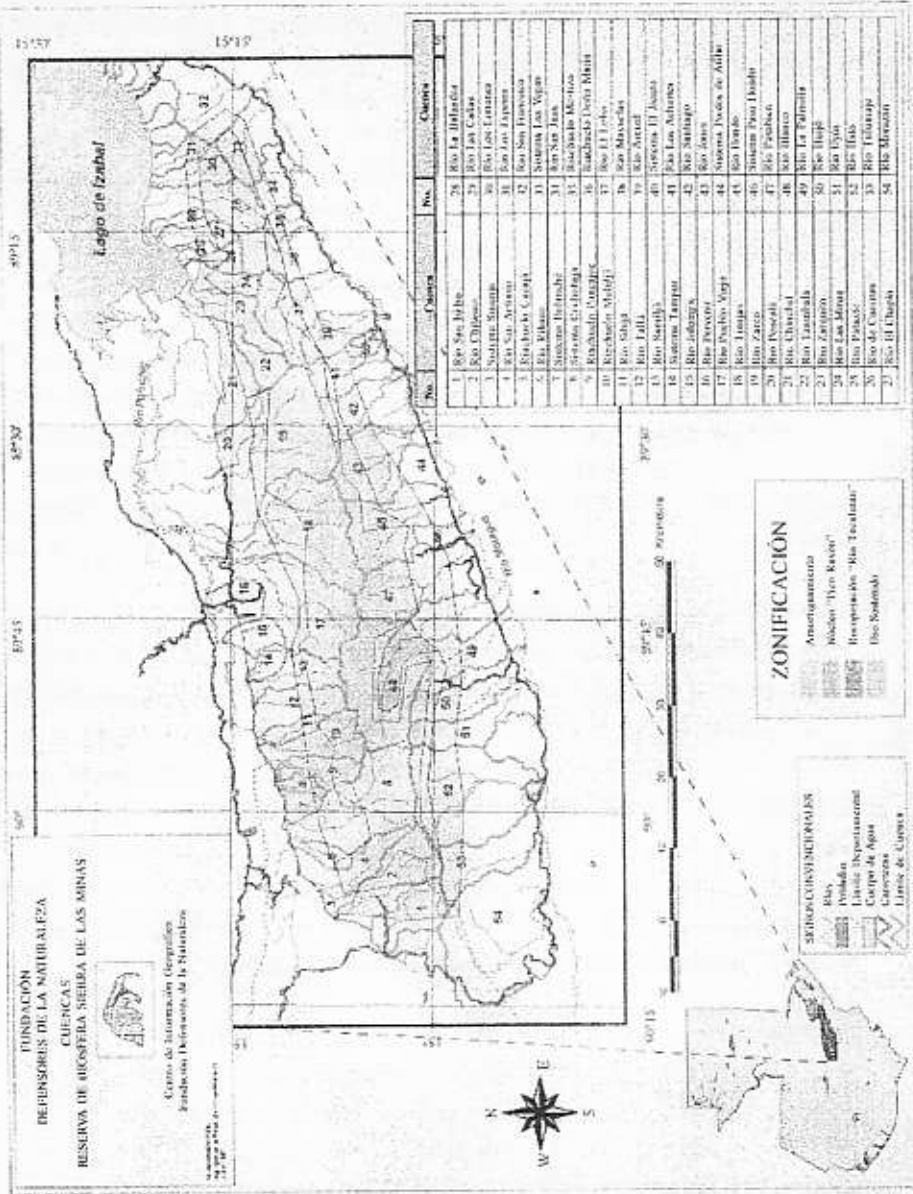


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica y de cuencas hidrográficas en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas. (Fuente: de la Roca & Hartmann, 1997. CIGDEF: FDN)

Aspectos biofísico generales de la RBSM

La RBSM está ubicada en el nororiente de Guatemala, entre los valles del río Polochic y el río Motagua. La cantidad y las características de lluvia en las partes altas varían mucho en distancias muy cortas. La precipitación en la reserva se estima entre 700-3,000 mm anuales. De acuerdo con FDN (2003), la condensación de agua en la vegetación compleja de los bosques nubosos altos suplente a los ríos durante los meses de baja precipitación.

La depresión oeste-este de la RBSM influye fuertemente en el patrón de precipitación del valle del Motagua. Las cordilleras altas crean condiciones de sombra de lluvia, provocando que en el valle medio del Motagua se reporte una precipitación anual de menos de 500 mm, siendo entonces el valle más árido y seco de Centro América (FDN, 2003).

En los bosques nubosos de la Reserva de Sierra de las Minas nacen 63 ríos, agrupados en 52 subcuencas hidrográficas. El agua superficial y subterránea es utilizada en los valles circundantes (Valle del Motagua, Valle Polochic, Valle de San Jerónimo - Salamá) para el uso doméstico de aproximadamente 400,000 habitantes, 3 sistemas de riego semi-industriales y una infinidad de sistemas de miniriego, 68 industrias, 2 plantas hidroeléctricas (6 más en proyecto), 45 sistemas Pelton y varios sistemas de cultivo de tilapia (Alvarado & Núñez, 2004; FDN, 2003).

En la RBSM existen aproximadamente 200 comunidades rurales. En términos generales las comunidades Q'eqchi' y Poqomchi' ubicadas fundamentalmente en el lado norte de la Reserva, poseen niveles muy bajos de educación y alfabetismo, dependen de la agricultura de subsistencia y de la producción de algunos cultivos comerciales, la extracción de recursos y del empleo como trabajadores en las plantaciones de café y cardamomo (FDN, 2004).

El lado sur de la Reserva está dominado por población ladina³ y dependen de la ganadería extensiva, la producción de cultivos comerciales y extracción de madera. También están ubicadas industrias y agroindustrias grandes, medianas y pequeñas que utilizan el agua como materia prima. El nivel de educación de los habitantes de esta región es generalmente más elevado que el de las comunidades indígenas (FDN, 2004).

Importante consideración para el Fondo del agua desde el punto de vista histórico, social y antropológico es la relación existente entre latifundio, minifundio⁴ y usuarios del agua. Las fincas de mayor extensión del área están ubicadas en la zona núcleo de Sierra de las Minas y paradójicamente son las productoras y generadoras del agua, por su cobertura forestal, localización y buen estado de conservación. En la parte intermedia de la Sierra de las Minas y sobre todo en el lado norte, se ubican los minifundios, dominados por tierras indígenas, y procesos frecuentes de invasiones de propiedades estatales, privadas. El escenario propicia que las alternativas de desarrollo sean mínimas siguiendo un modelo basado únicamente en la agricultura de subsistencia (FDN, 2004).

En los valles de Motagua y Polochic se presentan tierras medianas y grandes, con régimen de propiedad privada. Están sujetas a cultivos de agro exportación y con facilidades de comercialización, tecnología, acceso a mercados y con todos los servicios públicos y privados que coadyuvan el desarrollo. Paradójicamente ellos son los principales usuarios del agua y basan mucho su desarrollo en la riqueza de dicho recurso, sobre todo en el valle seco del Motagua (FDN, 2004).

GENERALIDADES DEL DISEÑO DEL PSA "FONDO DEL AGUA"

Identificación de los servicios ambientales

En cuanto a la identificación de los servicios ambientales generales del Fondo del agua, Núñez (2003) y Alvarado & Núñez (2004) apoyados en diversos documentos, refieren que estos se centrarán en los servicios hídricos que la RBSM provee a los habitantes del valle del Motagua, en términos de regulación hídrica en cantidad y calidad.

Esto coincide con Pagiola & Platais (2002), que expresan que la mayor parte de programas PSA en Latinoamérica se han centrado en los servicios hídricos. Mayrand & Paquin (2004) en su revisión de esquemas PSA vigentes hacen un listado de posibles servicios hídricos proporcionados por los ecosistemas forestales: regulación de caudales; mantenimiento de calidad hídrica; control de erosión y sedimentación; reducción de salinidad del suelo; regulación de nivel freático; mantenimiento de hábitats acuáticos.

De acuerdo con documento redactado por Ramírez (2005), se está trabajando en la definición de los servicios ambientales que podrían satisfacer la demanda de los beneficiarios industriales en la cuenca del Río Pasabién, y que se refieren fundamentalmente a la disponibilidad y calidad del agua. En dicho documento se observa una confusión entre lo que son servicios ambientales de la RBSM y lo que son los proyectos a través de los cuales se pueden conservar o mejorar dichos servicios; la revisión de este aspecto es clave para una adecuada identificación de los servicios ambientales que benefician al sector industrial de la cuenca del río Pasabién.

En todo caso, los servicios hídricos provistos por los bosques son complejos y muchas veces no bien comprendidos. Estudios de referencia como los de Chomitz & Kumari (1996), Kerr (2002) o FAO (2000) tratan con más detalle los servicios hídricos proveídos por los bosques desde la perspectiva de su inclusión en esquemas de pagos por servicios ambientales.

Selección del lugar y de los actores involucrados

Pese a que el Fondo del Agua está pensado para todo el sistema Motagua – Polochic, los mayores avances para operar el esquema de PSA se están dando en la parte Sur de la RBSM, es decir, las cuencas que abastecen el Valle del Motagua. La elevada productividad agro industrial del valle depende del aporte de agua de la cuenca, y su ubicación en clima semiárido, propicia el principio de escasez del recurso hídrico, básico para la puesta en marcha de un mecanismo con la lógica de “mercado”.

En el valle de San Jerónimo–Salamá, opera un mecanismo de cobros por manejo de la cuenca, ya que la Asociación de Irrigadores de San Jerónimo ha acordado el cobro obligatorio de Q.10 al año por hectárea (1.3 US\$/Ha al año) para invertir en el manejo adecuado de la parte alta de la cuenca de donde captan el agua (FDN, 2004). Esto es un índice de la oportunidad de éxito de un esquema PSA en la zona.

Es clara la alta variedad de formas que puede adoptar aquél que paga y aquél que recibe el pago por los servicios ambientales en el PSA planteado para el área, considerando la extensión y el gran número de involucrados en la temática del agua en la RBSM. Una de las cuencas piloto en donde se plantea impulsar la propuesta es la del río Pasabién, en donde son 15 los actores (del sector público, sector político, sector privado o

sector comunitario) involucrados con los niveles de acceso y uso de los recursos hídricos (FDN & PODOCARPUS, 2003; Gálvez, 2003).

En la cuenca del Río Pasabién, y considerando la evolución de las negociaciones⁵, se ha iniciado una experiencia piloto con el sector privado (industria e hidroeléctrica). Se está diseñando el mecanismo financiero PSA a implementar y por consiguiente, los primeros beneficiarios de los servicios ambientales que pueden entrar en el esquema PSA son la empresa A⁶ (planta embotelladora de bebidas), la empresa B (empresa productora de papel), la empresa C (empresa privada de producción de energía hidroeléctrica) y la empresa D (empresa embotelladora de licores) (Reyes, 2004; Ramírez, 2005).

De acuerdo con Alvarado & Núñez (2004) la estrategia del Fondo del Agua identifica como proveedores de los servicios ambientales a los propietarios de bosques. La compensación está dirigida a los administradores del área o los propietarios privados del bosque dentro de la Reserva. Esto es una de las modalidades de beneficiarios señaladas por Alix et.al. (2003), Pagiola et.al. (2004), Pagiola & Platais (2002) ó Zbinden & Lee (2005).

Otra forma de identificar los actores involucrados es analizando documentos que hacen referencia al diseño de la estructura del Fondo del Agua, donde se propone llegar a los distintos usuarios del agua (proveedores y/o beneficiarios de servicios ambientales) a través de programas de trabajo que están en fase de discusión. Cabe destacar el acercamiento con algunos usuarios del sector industrial, hidroeléctrico, agrícola y comunidad científica, así como el trabajo de diagnóstico con las Mancomunidades de Municipalidades del sur de la RBSM. Menor acercamiento ha existido con la Mancomunidad de Municipalidades del Norte de la RBSM, donde los problemas socioeconómicos suelen ser más evidentes (FDN, 2004; FDN & PODOCARPUS, 2003; Núñez, 2003).

Respecto a la base de conocimiento para el mecanismo PSA

Diversos autores recomiendan contar con buena información base para el diseño del PSA e identificar los indicadores adecuados para medir el impacto de la aplicación del sistema. Entre ellos se señalan: un análisis

global de costo/beneficio del sistema, que le compare con otras alternativas de conservación y gestión que pudieran ser más eficientes y costo-efectivas; demostrar la verosimilitud de la relación causa-efecto que sustenta el servicio ambiental; estudios que demuestren el cambio de caudal y sedimentación antes y después del proyecto en la cuenca hidrográfica (FAO & REDLACH, 2004; WWF Perú, 2002).

Considerando las necesidades de información, la Fundación Defensores de la Naturaleza ha generado diversidad de información biofísica y socioeconómica de la RBSM a lo largo de su historial. A la fecha se trabaja en el ordenamiento y sistematización de dicha información⁷. En el cuadro 2 se presentan aquellos documentos que destacan por su aporte de información socioeconómica y biofísica base para el Fondo del Agua.

Cuadro 2. Listado de documentos destacados con información base para el diseño del PSA Fondo del Agua.

Autor	Título	Año	Localización
Alvarado, S. (*)	Valoración económica del servicio ambiental de regulación hídrica para el uso domiciliar yiego en la cuenca del río Lato, San Agustín, Acasaguastán	2003	Cuenca del río Lato, RBSM
Alvarado, S., Núñez, O. (*)	Tendencia de la disposición de pago por el servicio ambiental de regulación hídrica para uso domiciliar y propuesta de un mecanismo financiero, en la cuenca del Río Lato	2004	Cuenca del río Lato, RBSM
Arévalo, L. (*)	Valoración del recurso hídrico cuenca del río Colorado, RBSM	2003	Cuenca del río Colorado, RBSM
Brown et al.	A valuation analysis of the role of cloud forests in watershed protection	1996	Cuencas del río Hato y del río Jones en la RBSM
FDN	Programa de Investigación y de Monitoreo de Recursos Hídricos Fondo del Agua Sistema Motagua - Polochic documento preliminar	2004	Sistema Motagua - Polochic
FIRA / USAD	Servicios Ambientales: viabilidad de los mecanismos de pago, insumos para la formulación de una política marco de servicios ambientales en Guatemala	2002	Ámbito nacional
FIRA / USAD	Modelo para determinar el efecto sobre el recurso hídrico de la Sierra de las Minas y el Cerro Ajur	en RBSM	
Sevez, E.	Estudio Socioeconómico en la cuenca Pasabén, Proyecto Fondo del Agua, RBSM	2003	Cuenca del río Pasabén, RBSM
Hernández, O.	Valoración económica del recurso hídrico en la subcuenca Jones, Sierra de las Minas, Guatemala	2001	Cuenca del río Jones, RBSM
Hernández, O.	Valoración económica del servicio ambiental de regulación hídrica pago sur de la RBSM, Guatemala	2002	Lado sur de la RBSM
Gobos, G., Ortiz, A.	Valoración económica de los impactos del huracán Mitch y sus consecuencias en la población: estudio de casos en las cuencas del Motagua y Polochic	2000	Cuencas del río Motagua y Polochic
Núñez, O.	Revisión general sobre legislación de recursos hídricos	2003	Ámbito nacional
Ramírez, L.	Informe Preliminar con resultados de la visita "Mecanismo financiero para el sector industrial" proyecto Fondo del Agua Motagua - Polochic	2005	Cuenca del río Jones, RBSM
Reyes, V.	Valoración económica del agua para uso industrial en la cuenca del río Pasabén, RBSM, Guatemala	2004	Cuenca del río Pasabén, RBSM

(*) Documentos de uso institucional de FDN no publicados.

En el análisis de los documentos del Cuadro 2, los correspondientes a Brown et.al. (1996), FIPA/USAID (s.f.) y Hernández et.al. (2002) han destacado por el aporte de información base sobre los servicios hídricos proveídos por la RBSM y la valoración económica de tales servicios a escala regional.

El estudio de Brown et.al. (1996) procuró evaluar la influencia de la cobertura forestal de la RBSM sobre la escorrentía y cuantificar el valor socioeconómico del agua que nace allí y abastece el valle del Motagua. El estudio destaca la importancia del agua para la comunidad de regantes (incrementos en riego aumentan la productividad de tierras agrícolas en US\$73/Ha) y demuestra la importancia de la precipitación horizontal y la capacidad de infiltración del suelo para el mantenimiento de caudales en la época seca. Recomienda estudiar los efectos hidrológicos de la deforestación.

El estudio de FIPA / USAID (s.f.) diseña y calibra un modelo hidrológico conceptual (basado en análisis SIG) de la RBSM, cuyo objeto es predecir los cambios relativos en los volúmenes de agua que generan los cambios en cobertura forestal, pero sin predecir exactamente el volumen de los caudales. No se realizó validación del modelo. El estudio sugiere que el cambio en el uso del suelo afecta la disponibilidad estacional de agua, pero no da certidumbre sobre los procesos hidrológicos en las cuencas de la RBSM.

Mediante la valoración económica del servicio ambiental de regulación hídrica del lado sur de la RBSM (Hernández et.al., 2002) se estima una tarifa de agua por el servicio de regulación hídrica del bosque, a través de la aplicación de técnicas de valoración de servicios ambientales basadas en precios de mercado, costo de oportunidad de suelos con cobertura forestal, costo de protección del bosque, estimación de externalidades positivas del bosque (regulación de caudales y su impacto económico en daños a infraestructura vial) y costos de reforestación. La información hidrológica base de este estudio es la generada por FIPA/USAID (s.f.) por lo que recomiendan profundizar en la cuantificación y valoración del efecto de regulación hídrica del bosque.

La tarifa por el servicio ambiental de regulación hídrica del lado sur de la RBSM se estima en US\$ 0.03/m³ (US\$188.30/Ha de bosque al año). En

otras palabras, se estima que el bosque del lado sur de la RBSM posee un valor por servicio de regulación hídrica equivalente a US\$15,938,834.88 (Hernández et al., 2002).

Considerando la vigente discusión de la comunidad científica respecto al vínculo hidrología y bosque, es decir, lo complejo y no siempre bien comprendido respecto a servicios hídricos del bosque (Chomitz & Kumasi, 1996; Gutman, 2003; Mayrand & Paquin, 2004; Pagiola & Platais, 2002) y los alcances de los estudios señalados en cuanto a los procesos hidrológicos en la RBSM, es fácil comprender la necesidad de fortalecer el Fondo del Agua con más fundamentos teóricos a escala regional y de cuenca.

FAO & REDLACH (2004) recomiendan contar con estudios sobre la demanda y la oferta de los servicios ambientales, y sobre evaluaciones económicas de los cambios tecnológicos necesarios para mantener la provisión del servicio ambiental. Al respecto, Ramírez (2005) pretende proporcionar información base concerniente al mecanismo financiero a aplicar con el sector industrial en la cuenca del Río Pasabién; el estudio a nivel local puede servir como guía a nivel regional en la RBSM.

En cuanto a los estudios de valoración económica del agua a escala de cuenca, ha habido aproximaciones con diversidad de rigurosidad científica tanto por la información disponible como por limitantes de recursos. Los métodos aplicados para valoración económica han sido igual de diversos, incluyendo los de cambios de productividad, costos de oportunidad, costos de protección, costos de mantenimiento, precios sombra, valoración contingente.

Estudios como los de Alvarado (2003), Alvarado & Núñez (2004) o Arévalo (2003) son de carácter institucional y su alcance puede considerarse como el de un análisis de tendencia o sondeo. Con respecto a la valoración económica del agua para uso industrial Reyes (2004) hace una propuesta para la cuenca del Río Pasabién que consiste en construir una función de producción para las industrias de la zona basada en el uso del método de cambios de productividad. Por su parte, Hernández (2001) hace una propuesta para el sector hidroeléctrico utilizando el método de costos de oportunidad y costos de protección.

Estudios como los señalados en párrafos anteriores han proveído la base para el diseño del Fondo del Agua, especialmente para su esquema funcional y financiero. Aún es necesario profundizar más en la valoración del agua para que el mecanismo de pago/contribución diseñado sea el más adecuado y justo. En todo caso, esta información ha sido, y sigue siendo, punto de partida para las negociaciones con los actores involucrados con los recursos hídricos (Alvarado & Núñez, 2004).

FDN (2004) ha planteado el “Programa de investigación y monitoreo de recursos hídricos Fondo del Agua” para contar con información útil; su puesta en marcha requerirá de recursos monetarios, al momento escasos. Sin embargo, se están realizando avances para conocer mejor los procesos hidrológicos involucrados y criterios para monitorear el impacto del PSA, mediante la modelación hidrológica de la cuenca del Río Pasabién y dos cuencas aledañas (Morales-de la Cruz, en preparación) y con posible aplicación a escala regional en la RBSM en función de la información existente.

Respecto al marco legal y los PSA

FAO & REDLACH (2004) hacen anotaciones importantes sobre los PSA y el marco legal al señalar que en general, un marco legal específico para PSA no es un requisito para la implementación de sistemas de PSA en cuencas a nivel local y que incluso, la confianza entre comprador y proveedor y la existencia de un buen intermediario se estima más importante que dicho marco. El que la legislación reconozca el PSA como instrumento puede facilitar la difusión e implementación de tales sistemas; en caso de construir un marco legal para PSA, es importante que los reglamentos se basen en experiencias concretas que funcionan exitosamente en el mismo país.

Estas consideraciones resultan importantes para el Fondo del Agua en Guatemala, pues el marco legal que tiene como referente es bastante complejo, con duplicidades e incluso contradicciones, frente a la ausencia de una Ley general de aguas en el país y la falta de seguridad jurídica en los derechos de uso del agua (Cobos, 2002; NOVIB/FUNDACIÓN SOLAR, 2001). El mecanismo PSA Fondo del Agua surge

como una propuesta de carácter local que responde a las necesidades de gestión de agua, que aún sin marco legal firme que le respalde, es coherente con dichas necesidades y la realidad de los recursos hídricos guatemaltecos.

La otra cara de la moneda la muestra Gutman (2003) para quien lo normal es que ninguna industria esté interesada en comprar un servicio ambiental si no hay tratados internacionales o regulaciones nacionales que les fuercen. Esto refleja que la iniciativa del Fondo del Agua con el sector industrial deberá tratarse en una primera fase a nivel de convenios de voluntad, como sucede en la cuenca del río Pasabién.

En el contexto guatemalteco, los esquemas PSA son relativamente recientes y además del Fondo del Agua hay experiencias en el ámbito nacional y local. Destacan:

- Programa de Incentivos Forestales (PINFOR), cuyo marco legal es la Ley Forestal Decreto 101-96. En el año 2002, el INAB pagó en incentivos por reforestación y manejo de bosques naturales por un total de US\$ 10,49 millones (Reyes, 2004).
- Programa piloto de apoyos forestales directos (PPAFD), diseñado para compensar económicamente los servicios ambientales que brindan los bosques en posesión de los sectores que no pueden acceder al PINFOR por falta de certeza jurídica sobre la posesión de la tierra. El monto de este programa asciende a 12.15 millones de US\$ y ha sido promovido por políticas estatales y cooperación internacional (Reyes, 2004).
- Proyecto de Manejo de Recursos Naturales en el Altiplano occidental de Guatemala (Proyecto MIRNA), apoyado por el Banco Mundial y Global Environmental Facility (GEF) por un monto total de US\$ 55.43 millones, que asume impactos positivos para las personas pobres del Altiplano Occidental de Guatemala mediante la estrategia basada en mercado de manejo de recursos naturales; el marco político que le respalda es el de la cooperación multilateral (Pagiola et.al., 2005).

CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y MONITOREO DE IMPACTOS DEL PSA FONDO DEL AGUA

Respecto a los fondos recaudados

Es vital que en el diseño del PSA, se garantice que los fondos recaudados se inviertan en las acciones establecidas y en la cuenca donde se recaudan los fondos; su efectividad radica en la buena orientación y definición de requisitos detallados de gestión, pero ello incrementa los costos de transacción del sistema (FAO & REDLACH, 2004; Mayrand & Paquin, 2004). En este sentido la estrategia Fondo del Agua considera acciones o proyectos prioritarios para la inversión y en su fase piloto propone invertir los recursos generados dentro de las cuencas en que se generan o en áreas aledañas, a la vez de proponer un orden de la inversión que sobre valore los costos de transacción (FDN & PODOCARPUS, 2003; Núñez, 2003).

Se plantea que los recursos monetarios del Fondo del Agua se utilicen en "financiamiento de acciones concretas de mejoramiento de la utilización del agua, conservación y compensación a propietarios de bosques" (Alvarado & Núñez, 2004). El tema sigue en fase de discusión y existen propuestas de inversión de los fondos con base en programas de trabajo para llegar a los distintos usuarios del agua (beneficiario y proveedores de servicios ambientales, incluyendo a aquellos de escasos recursos) y favorecer acciones acordes a un mejor manejo y conservación del recurso (Núñez, 2003). A efectos de una mejor discusión de estas propuestas se presentan algunos criterios aportados por entes que han estudiado la teoría de esquemas PSA.

WWF-Perú (2002) aporta consideraciones que pueden ser útiles en el contexto del desarrollo rural de las comunidades o pequeñas poblaciones, pues señala que "el pago no necesariamente debe expresarse como una operación monetaria, pues también puede traducirse en una mejora de infraestructura (caminos, reservorios de agua, etc.), servicios (postas médicas, escuelas, etc.) o extensión rural (talleres, equipamiento, semillas, etc.)".

FAO & REDLACH (2004), coincide en que la compensación a los proveedores de los servicios ambientales no es necesariamente de pa-

gos en efectivos, y señala la modalidad de los incentivos fiscales, crédito o algún otro tipo. Al respecto, Ramírez (2005) señala que algunas industrias del valle del Motagua, en su calidad de beneficiarios de los servicios ambientales, han propuesto participar en el Fondo del Agua a cambio de incentivos fiscales por su aporte a la gestión ambiental (lo que refleja que el débil marco legal de referencia da un amplio margen de negociación). Cabe cuestionar si la postura de dicho sector industrial es acorde con la lógica de compensación dentro del esquema PSA y si se plantea un pago con fondos privados de los beneficiarios de los servicios ambientales o con fondos descontados de la tributación fiscal al Estado.

Como parte de los diagnósticos realizados en el área de la RBSM, surgen algunas consideraciones interesantes: “los habitantes de la cuenca creen que las personas ubicadas que viven aguas arriba en la cuenca, tienen acceso a más y mejor agua que los demás, y esto está relacionado con la cercanía al bosque nuboso y a la ausencia de poblados grandes más arriba” (Alvarado & Núñez, 2004). Valdrá la pena discutir dentro de la teoría de los esquemas PSA, respecto a si estos usuarios aguas arriba de la cuenca son beneficiarios de servicios ambientales y si dichos beneficios deben internalizarse dentro del proceso.

Dado que los mercados introducen un sistema basado en la moneda para distribuir recursos, aquellos con menos dinero tendrán una influencia reducida sobre el servicio de distribución. (Gutman, 2003; FAO & REDLACH, 2004). Si la propuesta PSA desea involucrar con igualdad a los usuarios y proveedores de servicios ambientales, es recomendable tomar en cuenta este tipo criterios.

Respecto al impacto de los PSA

Existe una serie de documentos de necesaria referencia, que aportan criterios sobre el impacto de los esquemas PSA en la reducción de la pobreza o el desarrollo rural (Csaki, 2003; FAO & REDLACH, 2004; Gutman, 2003; IUCN, 2002; Kerr, 2002; Landell-Mills & Porras, 2002; Pagiola et.al., 2005). Los estudios coinciden en la poca información profunda que demuestre los impactos de estas estrategias tanto a nivel de ambiente como socioeconómico y suelen ser claros al sugerir que los sistemas PSA no están diseñados para reducir la pobreza.

Sin embargo, FAO & REDLACH (2004) hace énfasis en la importancia de no olvidar el tema de la pobreza en el contexto de los PSA, al señalar que la reducción de la pobreza es de gran interés, tanto por razones de equidad como para asegurarse que los mercados sean sostenibles; además, propone enmarcar el PSA en una propuesta más amplia de desarrollo que contemple criterios de desarrollo rural, resolución de conflictos entre usuarios de servicios ambientales, medio ambiente, entre otros.

Mayrand & Paquin (2004) insiste en la idea de la equidad o beneficio a los más pobres, pero recuerda que debe haber un balance pues aumentar el pago a los pequeños propietarios del suelo aumenta también los costos de transacción al multiplicar los participantes del sistema y disminuir la eficacia de los pagos; señalan que existen, decisiones difíciles y excluyentes por las cuales optar entre eficacia de costos⁸, efectividad y equidad al desarrollar un sistema de PSA.

Una de las metas planteadas dentro de la “visión estratégica global del Fondo del Agua” (Núñez, 2003) es el promover el bienestar socioeconómico de las poblaciones, a través de actividades concretas que mejoren la conservación y el manejo sostenible de los recursos hídricos en el área. El tema no se ha dejado de lado, y existe el planteamiento de programas del PSA propuestos para llegar a la gente de menos recursos.

No obstante, cabe recordar que es indispensable el refuerzo de dichas estrategias para que el flujo de fondos pueda llegar hacia las poblaciones con falta de seguridad jurídica en la propiedad de la tierra o mayor presión socioeconómica, es decir, es indispensable mayor acercamiento y participación con las poblaciones en minifundio y poblaciones indígenas del lado Norte de la RBSM. La sostenibilidad del Fondo del Agua dependerá en gran medida de esta estrategia (Gutman, 2003; FAO & REDLACH, 2004; IUCN, 2002).

CONCLUSIONES

La fase de diseño de la iniciativa "Fondo del Agua Sistema Motagua-Polochic" refleja la adaptabilidad característica de los esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) a las condiciones locales.

Aunque en la actualidad no existe un modelo rígido de PSA a seguir, la iniciativa Fondo del Agua debe seguir reforzándose con criterios de las experiencias en otras localidades o países, y con análisis sustentados teóricamente.

La necesidad de reforzar este esquema PSA con mayor conocimiento de los procesos hidrológicos involucrados y temas de valoración económica de los servicios ambientales es clara, y la existencia de un programa de investigación y monitoreo del Fondo del Agua pretende responder a dichas necesidades. No obstante, hacen falta recursos para poner en marcha dicho programa.

La propuesta del Fondo del Agua, como iniciativa local que mueve voluntades de actores locales y busca la institucionalización del esquema, es una propuesta de manejo de los recursos hídricos a escala de cuenca que ha surgido frente a la ausencia de un marco legal e institucional sólido a nivel nacional.

Asegurar la participación de todos los usuarios del agua, especialmente la de aquellos con débil organización social y mayor problemática socioeconómica, es fundamental para mantener el principio de equidad del esquema PSA propuesto y por tanto su sostenibilidad a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Especial mención del apoyo de la Ingeniera Susana Alvarado de la Fundación Defensores de la Naturaleza, al compartir experiencia y por la facilitación de algunos documentos relacionados con la iniciativa "Fondo del Agua".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, C. 1997. Métodos e instrumentos de valoración económica de bienes y servicios ambientales: el caso de España.
- Alix, J.; de Janvry, A.; Sadoulet, E. 2003. Payments for Environmental Services: To whom, where and how much? In: INE/CONAFOR/World Bank Workshop on Payment for Environmental Services Guadalajara, Mexico. 27 p.
- Alvarado, S. 2004. Informe sobre el comportamiento de la calidad del agua en cuatro sub-cuencas del río Motagua (Lato, Pasabién, Hondo y Jones): Resultado Parcial 1.1.2. FDN. 39 p.
- Alvarado, S. 2003. Valoración económica del servicio ambiental de regulación hídrica para el uso domiciliario y riego en la cuenca del río Lato, San Agustín Acasaguastlán. Podocarpus S. A.-Defensores de la Naturaleza, Guatemala.
- Alvarado, S.; Núñez, O. 2004. Tendencia de la disposición de pago por el servicio ambiental de regulación hídrica para uso domiciliario y propuesta de un mecanismo financiero, en la cuenca del Río Lato. FDN / CBM. 36 p.
- Arévalo, L. 2003. Valoración del recurso hídrico cuenca del río Colorado, RBMS. Podocarpus S. A.-Defensores de la Naturaleza, Guatemala.
- Cobos, C. 2002. El Agua: Situación Actual y Necesidades de Gestión. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Csaki, C. 2003. Reaching the rural poor: A renewed strategy for rural development. Herndon, VA, USA: World Bank Publications, 2003. p 70, 71.
- Chomitz, K.; Kumari, K. 1996. The domestic benefits of tropical forests: a critical review emphasizing hydrological functions. The World Bank, Policy research working paper 1601. 41 p.
- FAO. 2000. Land-water linkages in rural watersheds: electronic workshop synthesis report. Roma, FAO, 18 de septiembre – 27 de octubre 2000.
- FAO/REDLACH. 2004. Foro electrónico sobre sistemas de pago por servicios ambientales en cuencas hidrográficas: informe final. FAO / REDLACH, 27 p.
- FDN. 2003. III Plan Maestro de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas. FDN. 81 p.
- FDN. 2004. Programa de Investigación y de Monitoreo de Recursos Hídricos Fondo del Agua Sistema Motagua – Polochic: documento preliminar. FDN. 47 p.
- FDN & PODOCARPUS S.A. 2003. Estructura Fondo del Agua sistema Motagua – Polochic. TNC / WWF / FIPA / USAID. 11p.
- FIPA / USAID. s.f. Modelo para determinar el efecto sobre el recurso hídrico de la Sierra de las Minas y el Cerro Alux. 74 p.
- FIPA / USAID. 2002. Servicios Ambientales, viabilidad de los mecanismos de pago: insumos para la formulación de una política marco de servicios ambientales en Guatemala. FIPA / USAID / IARNA-URL. 12 p.
- Gálvez, E. 2003. Estudio Socioeconómico en la cuenca Pasabién, Proyecto Fondo del Agua, RBMS. TNC Guatemala, 1-59 p.

- Gibbons, D. 1986. The economic value of water. U.S.A., Resources for the future. p. 3
- Guerra, A. 2003. Estimación económica de la contribución del bosque en la regulación de la calidad del agua para riego e hidroeléctrica en el río Pasabién. Tesis de grado, Universidad del Valle de Guatemala.
- Guzmán-Böckler, C. 1995. Para recuperar la iniciativa histórica: Guatemala antes y después de 1992. Suport Mutu, Castelló de la Plana.
- Gutman, P (Ed). 2003. From goodwill to payments for environmental services: a survey of financing options for sustainable natural resource management in developing countries. WWF-MPO. 148 p.
- Hernández, O. 2001. Valoración económica del recurso hídrico, en la subcuenca del río Jones, Sierra de las Minas, Guatemala. Tesis de Maestría CATIE, Costa Rica.
- Hernández, O.; Cobos, C.; Ortiz, A. 2002. Valoración económica del servicio ambiental de regulación hídrica: lado sur de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, Guatemala. FIPA / USAID. 41 p.
- IUCN, 2002. Pro-poor markets for environmental services: a new source of finance for sustainable development?. Taller en World Summit for Sustainable Development, Johannesburg, Sudáfrica, 28 de agosto-4 de septiembre de 2002.
- Kerr, J. 2002. Watershed development, environmental services, and poverty alleviation in India. World Development Vol. 30, No. 8, pp. 1387-1400, 2002
- Landell-Mills, N.; Porras, I. 2002. Silver bullet or fools' gold?: a global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor. Instruments for sustainable private sector forestry series. International Institute for Environment and Development, London. 254 p.
- Mayrand, K.; Paquin, M. 2004. Pago por servicios ambientales, estudio y evaluación de esquemas vigentes: informe presentado por Unisféra International Center a CCA. 57 p.
- Méndez, J. 2000. Valoración económica de los impactos del Huracán Mitch y sus consecuencias en la población: estudio de casos en las cuencas Motagua y Polochic. Proyecto de Monitoreo Ambiental de las cuencas Motagua y Polochic, CATIE-USAID, Guatemala.
- Morales-de la Cruz, M. (en preparación). Modelación hidrológica distribuida de la cuenca del río Pasabién, RBSM, Guatemala.
- NOVIB/ Fundación Solar. 2001. Estado del agua en Guatemala, 2000: para su discusión. Guatemala, 78 p.
- Núñez, O. 2003. Estructura funcional y financiera de la fundación del agua del Sistema motagua polochic. Fondo del Agua Sistema Motagua - Polochic/PODOCARPUS S.A. 73p.
- Núñez, O. 2003a. Revisión general sobre legislación de recursos hídricos. FDN / PODOCARPUS S.A. 36 p.
- Pagiola, S.; Platais, G. 2002. Payments for Environmental Services. Washington, DC: The World Bank Environment Department, Environment Strategy Notes (3). 4 p.
- Pagiola, S.; Bishop, J.; Landell-Mills, N. 2002. Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development. London, UK: Earthscan Publications.

- Pagiola, S.; Arcenas, A.; Platais, G. 2005. Can payments for environmental services help reduce poverty?: an exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. *World Development*, 33, 237-253.
- Ramírez, L. 2005. Informe Preliminar con resultados de la visita "mecanismo financiero para el sector industrial" proyecto Fondo para el Agua Motagua - Polochic. 19 p. (documento para discusión).
- Reyes, V. 2004. Valoración económica del agua para uso industrial en la cuenca del río Pasabién, RBSM, Guatemala: informe final. WWF / FDN. 38 p.
- Smith, J.; Applegate, G. 2004. Could payments for forest carbon contribute to improved tropical forest management? *Forest Policy and Economics*, 6, 153-167.
- Tomich, T.; Thomas, D.; van Noordwijk, M. 2004. Environmental services and land use change in Southeast Asia: from recognition to regulation or reward? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104, 229-244.
- World Bank Staff. 2004. Sustaining forests: A development strategy. Herndon, VA, USA: World Bank, The. p 37, 38, 42.
- WWF Perú. 2002?. Taller de pago por servicios ambientales: informe electrónico, Colombia, WWF/CARE. www.wwfperu.org.pe
- Zbinden, S.; Lee, D. 2005. Paying for environmental services: an analysis of participation in Costa Rica's PSA Program. *World Development*, 33, 255-272.

1. Lee & Juravlev, 1988; Pearce, 1985: Citados por Núñez (2003).
2. El sistema incluye la RBSM y el Refugio de vida silvestre Bocas del Polochic, la región semiárida del Valle del Motagua, el Corredor Biológico del Bosque Nuboso y el Corredor entre la Sierra de las Minas y Bocas del Polochic.
3. El término "ladino" identifica a la población mestiza no indígena y ha sido criticado por Guzmán Böckler (1995) por contener resabios clasistas.
4. Latifundio: grandes extensiones de tierra con pocos propietarios. Minifundio: pequeñas extensiones de tierra con muchos propietarios.
5. Alvarado, S. 2005. Entrevista con coordinadora del Proyecto Fondo del Agua, FDN.
6. Por motivo de los derechos reservados o marcas registradas, no se señala el nombre de las empresas involucradas; los nombres en la cuenca del Pasabién son de dominio público.
7. Martínez, G. 2005. Entrevista con persona de FDN encargada de ordenamiento de documentos FDN.
8. La eficacia en costos de los PSA está estrechamente relacionada con los costos de transacción del sistema, mismos que, por tanto, tratan de minimizar (Mayrand & Paquin, 2004).

CARACTERIZACIÓN DE ACEITES ESENCIALES Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD BIOCIDA DE CINCO ESPECIES NATIVAS DE *PIPERACEAE*S

Sully M. Cruz V. *, Félix R. Véliz**,
María del Carmen Samayoa***,
Armando Cáceres****, Isabel Gaitán****,
Ruth Molina G.* y Luis Álvarez*****



RESUMEN

En Guatemala se describen unas 83 especies del género *Piper* de las cuales hay muy poca información química o farmacológica, lo cual surgió la necesidad de contribuir al estudio de estas especies. Se identificaron cinco especies de *Piper* (*P. aeruginosibaccum*, *P. hispidum*, *P. patulum*, *P. auritum* y *P. aduncum*), que se colectaron en Izabal, Alta Verapaz y Suchitepéquez. Se extrajo el aceite esencial y se determinó que el mayor rendimiento se obtuvo de *P. auritum* (2.0%), seguido de *P. aduncum*, *P. hispidum* y *P. patulum*, el de menor rendimiento fue *P. aeruginosibaccum* (0.3%). El análisis por CG-EM demostró que los principales constituyentes son monoterpenos. La evaluación de la actividad biológica se realizó mediante los métodos de dilución y difusión en disco, siendo este el más efectivo. Los aceites esenciales de *Piper* presentaron actividad contra *Mycobacterium smegmatis* y *Bacillus subtilis* a una concentración < 0.1 mg/mL y contra *Anopheles albimanus*, *Aedes aegypti* y *Artemia salina* a una concentración < 0.5 mg/mL. En el tamizaje fitoquímico se identificaron flavonoides, saponinas, principios amargos, alcaloides y aceite esencial en todas las especies, cumarinas únicamente en *P. auritum*, y antraquinonas en *P. auritum*, *P. aduncum*, *P. aeruginosibaccum* y *P. hispidum*.

INTRODUCCIÓN

Las plantas aromáticas constituyen una amplia gama de recursos naturales presentes en las regiones tropicales y subtropicales de América Latina.

Dentro de las plantas aromáticas y medicinales, el género *Piper* es promisorio para generar productos que puedan ser industrializados, ya que algunas tienen larga tradición como especies aromáticas, tal es el caso de *Piper nigrum* L. (pimienta), y algunas estudiadas recientemente presentan metabolitos que han demostrado alguna actividad, *P. methysticum* G. Forst. (kava-kava), cuyos preparados a base de su rizoma se emplean como sedante y ansiolítico, *P. auritum* HBK el cual presenta una esencia rica en safrol y el extracto de acetato de etilo de sus raíces tiene actividad moderada sobre el control de la chinche de los pastos *Collaria* aff. *oleosa*, *P. aduncum* L. el cual presenta una esencia rica en dilapiol, *P. lenticellosum* C.DC cuyo aceite esencial presenta acción relajante y paralizante sobre la lombriz de tierra (*Andriodilus bogotensis*). En Guatemala se han realizado estudios de algunas especies como *P. aeruginosibaccum* Trelease y *P. amalago* L. que han demostrado bioactividad contra protozoos.

El presente trabajo pretende contribuir al estudio de las especies aromáticas y medicinales más importantes del género *Piper*, logrando identificar la naturaleza química de algunos metabolitos mayoritarios con posible actividad biocida, así como determinar el rendimiento y las características de los aceites esenciales de estas especies no estudiadas previamente. La investigación que se plantea permitirá un mejor aprovechamiento de los recursos naturales con los que cuenta el país y propiciará la explotación sostenible de nuevos productos, así como la validación del conocimiento popular en el uso de plantas medicinales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las técnicas utilizadas se basan en el Manual de Operaciones del Laboratorio de Investigación de Productos Naturales y el Laboratorio de Bioensayos de la Facultad de CCQQ y Farmacia (6,9,22,32, 36,40,41).

Obtención y colecta del material vegetal: El material vegetal se colectó en dos diferentes regiones del país, la zona Norte-Altiplano y Sur, realizando la colecta de poblaciones silvestres donde se distribuyen las especies del género *Piper*. El material fue identificado con la colaboración de los botánicos de los Herbarios CECON y BIGU. Se recolectó una muestra representativa de 250-500 g de material vegetal por población.

Estudio del rendimiento y caracterización de aceites esenciales: El porcentaje de rendimiento de aceite esencial de las especies estudiadas, se realizó mediante la extracción por hidrodestilación, utilizando un equipo Neoclevenger de acuerdo la Real Farmacopea Española (32).

Determinación de los componentes del aceite esencial: Para la identificación de los componentes del aceite esencial se procedió a una separación e identificación por CG acoplada a un Espectrómetro de Masas. Las condiciones establecidas para el equipo fueron las siguientes: Temperatura inicial del horno 60°C, temperatura del puerto de inyección 230°C, gradiente de temperatura 2°C/min, temperatura final 210°C constante por 14 minutos, atenuación, tiempo de corrida, volumen de inyección 0.2 mL. Se determinó la correspondencia de los picos observados en el cromatograma y se comparó con la base de datos de Espectrometría de Masas que contiene el software del equipo, de acuerdo a su peso molecular y se identificaron los componentes presentes en el aceite.

Tamizaje antimicrobiano: Se evaluó por un método de dilución, basado en el descrito por Mitscher *et al.* (27), el cual consiste en preparar cajas de Agar Muller-Hinton (AMH) con 0.5 mg/mL del extracto (AMH-E). Inocular las bacterias en caldo, e incubar por 24 horas a 36°C, y diluir 1:100 en agua destilada estéril, inocular por estrías en cuadruplicado en la superficie de AMH-E e incubar a 36°C por 24 horas. Se evalúa el crecimiento de bacterias (-) o su inhibición (+). Se consideran positivos los extractos activos a concentraciones <0.5 mg/mL. El tamizaje se efectuó con los siguientes microorganismos: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Salmonella typhi* ATCC 14028, *Mycobacterium smegmatis* ATCC 607, *Bacillus subtilis* ATCC 6051, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Candida albicans* ATCC 10231 y *Cryptococcus neoformans* C13.

También se usó el método de difusión según Bauer *et al.* (4), que consiste en impregnar discos de papel secante estériles de 6 mm de diámetro con 10 mL del extracto, preparar cajas de AMH, estandarizar un cultivo de 24 horas en caldo tripticasa soya con un tubo No. 0.5 del nefelómetro de MacFarland, inocular masivamente en la superficie de las cajas, dejar reposar 3-5 minutos, aplicar los discos impregnados en triplicado, incubar a 35°C por 24 horas y medir los halos de inhibición en mm. La actividad se determinó por el diámetro del halo de inhibición, 6 mm es negativo, 6-9 mm es intermedio y >9 mm es positivo. Pueden compararse estadísticamente con discos impregnados con disolvente (control negativo) o con un antibiótico de referencia (control positivo) (7,8,16,34).

Ensayo contra nauplios de *Artemia salina* (camarón salino): La técnica consiste en la preparación de un medio salino, la colocación de huevos del crustáceo en dicho medio y su eclosión. Se transfiere la mayor cantidad de nauplios vivos a un Erlenmeyer con medio salino fresco. Se colocan por triplicado en 3 pozos de la microplaca, haciendo un volumen total por pozo de 100 µL de solución a ensayar. Posteriormente se agregan a cada pozo 100 µL de medio salino conteniendo de 10 a 15 nauplios y 100 µL de medio salino. Se usan 3 pozos como controles negativos los que se preparan en forma similar, utilizando como sustancia de prueba el medio de disolución de los extractos. Después de 24 horas se procede entonces a contar el número de sobrevivientes en cada dilución, del que por diferencia con el valor inicial, se calcula el número de decesos observados (1,17,21,24,25).

Tamizaje fitoquímico: Se realizan ensayos macro y semimicro en los que se evalúa la formación de precipitado y complejos coloreados. Se utilizan técnicas de cromatografía en capa fina (CCF) convencionales para la caracterización fitoquímica (20,36,40,48).

RESULTADOS

Especies identificadas

Se identificaron 5 especies en 3 regiones Suchitepéquez, Izabal y Alta Verapaz, en el siguiente cuadro se muestra la distribución geográfica de tales especies.

Cuadro No.1

Especies	Lugar de Colecta	Distribución geográfica
<i>Piper aeruginosibaccum</i> Trelease	Samayac, Suchitepéquez	Mesoamérica, y en Guatemala, Petén, Alta Verapaz e Izabal.
<i>P. hispidum</i> Sw.	Izabal	Mesoamérica.
<i>P. patulum</i> Bertol.	Samayac, Suchitepéquez	Centroamérica y en Guatemala, Alta Verapaz, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Chimaltenango, Suchitepéquez, Retalhuleu y Quetzaltenango.
<i>P. auritum</i> HBK	Cobán, Alta Verapaz	Centroamérica y en Guatemala, Petén, Alta Verapaz, Izabal, Zacapa, Santa Rosa, Escuintla, Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, Sololá, Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos.
<i>P. aduncum</i> L.	Cobán, Alta Verapaz	América del Sur y en Guatemala, Petén, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal, Zacapa, Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Guatemala, Chimaltenango, Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango.

Porcentaje de Rendimiento del Aceite Esencial

En el cuadro No.2 se muestra el aceite obtenido y el rendimiento de las especies evaluadas, *P. auritum* presentó mayor rendimiento de aceite y el de menor rendimiento fue *P. aeruginosibaccum*.

Cuadro No. 2

Especie	Aceite obtenido (g)/ 50 g Desviación Estándar	Aceite obtenido (%)
<i>Piper aeruginosibaccum</i>	0.1489± 0.013	0.2916
<i>P. hispidum</i>	0.2321± 0.08	0.4628
<i>P. patulum</i>	0.2274± 0.03	0.4492
<i>P. auritum</i>	0.8552± 0.03	2.0012
<i>P. aduncum</i>	0.8361± 0.07	1.6395

Comparación de la Composición Química de los Aceites Esenciales entre las especies estudiadas.

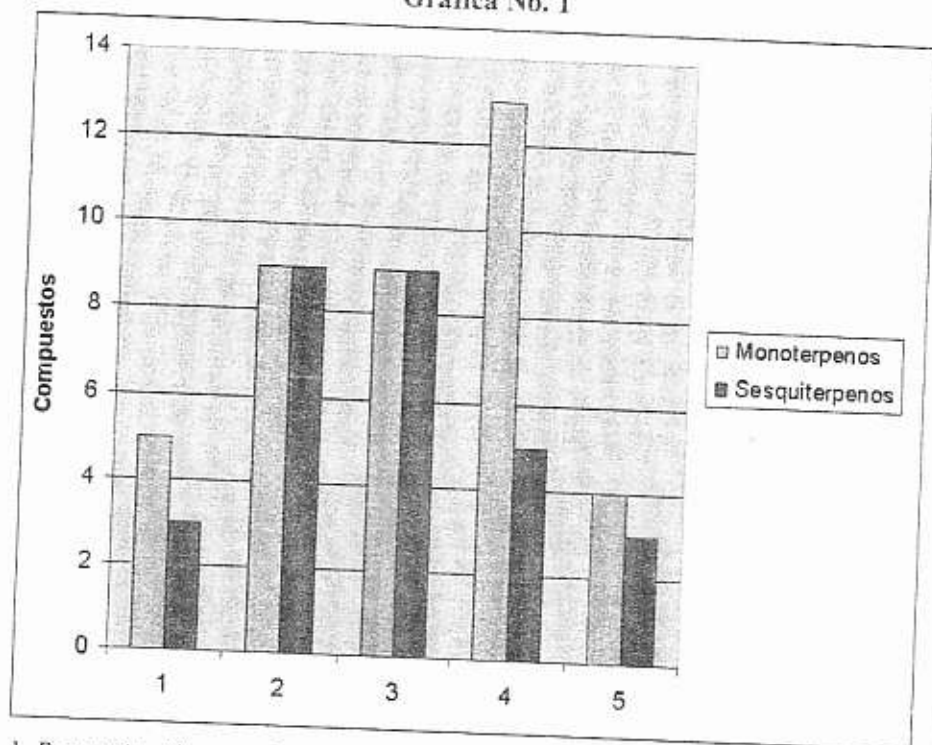
Cuadro No. 3

<i>P. aeruginosibaccum</i>	<i>P. hispidum</i>	<i>P. patulum</i>	<i>P. auritum</i>	<i>P. aduncum</i>
α -pineno	α -pineno	α -pineno	α -pineno	
	canfeno		canfeno	
β -pineno	β -pineno	β -pineno	β -pineno	
	3,7 dimetil-1,3,5 octatrieno	α -terpineno	mirreno	
	Linalool	1-metil-5-ciclohexano	α -terpineno	
δ -3-careno	bicicloheptan-2-canfor	(+)-3-careno	p-cimeno	
			γ -terpineno	γ -terpineno
		α -terpinoleno	α -terpinoleno	
bornileno	2,5,6 trimetil-1,3,5 heptatrieno	trans-anetol	canfor	Terpinen-4-ol
δ -elemeno	2,4 diisopropenil-1-metil-1-vinilo		α -copaeno	pipentona
1,5 ciclodecadieno	Benzocicloheptano		calareno	
β -canofileno	β -canofileno	β -canofileno	β -canofileno	β -canofileno
		ministicina	ministicina	
		α -humuleno	α -humuleno	α -humuleno
D-germacrano	β -selineno	Benzonitro	β -cubebeno	Oxido-canofileno
	γ -cadineno	1,6,10 dodecatrien-3-ol	euzarona	Dillapiol
	biciclogermacrano	biciclogermacrano		
		trans-azarona	trans-azarona	
	α -copaeno	β -eudismol	cis-azarona	
	1,6,10 dodecatrien-3-ol			
	(-) espatulenol			
	α -guaiaeno			
	β -sesquifelandreno			

Composición Química:

En la siguiente gráfica se observa la presencia de monoterpenos y sesquiterpenos en cada una de las especies, se observó mayor presencia de monoterpenos en las especies de *P. aeruginosibaccum*, *P. auritum* y *P. aduncum* mientras que *P. hispidum* y *P. patulum* presentaron igual cantidad de monoterpenos y sesquiterpenos.

Gráfica No. 1



1. *P. aeruginosibaccum*, 2. *P. hispidum*, 3. *P. patulum*, 4. *P. auritum*, 5. *P. aduncum*

Actividad Insecticida contra *Aedes aegypti* mg/mL: Se evaluó la actividad insecticida a una concentración de 0.5 mg/mL y se observó actividad a nivel de tamizaje en el 1° y 2° estadio en *P. aeruginosibaccum* y *P. hispidum* y hasta el 3° estadio en *P. auritum* y *P. aduncum*.

Cuadro No. 4

Especie	1o. Estadio	2o. Estadio	3o. Estadio	4o. Estadio
<i>Piper aeruginosibaccum</i>	<0.5	<0.5	>0.5	>0.5
<i>P. hispidum</i>	<0.5	<0.5	>0.5	>0.5
<i>P. patulum</i>	>0.5	>0.5	>0.5	>0.5
<i>P. auritum</i>	<0.5	<0.5	<0.5	>0.5
<i>P. aduncum</i>	<0.5	<0.5	<0.5	>0.5

Actividad insecticida contra *Anopheles albimanus* mg/mL: Se evaluó la actividad insecticida a una concentración de 0.5 mg/mL y se observó actividad a nivel de tamizaje en el 1° al 3° estadio en *P. aeruginosibaccum* y *P. hispidum* y hasta el 4° estadio en *P. auritum* y *P. aduncum*.

Cuadro No. 5

Especie	1o. Estadio	2o. Estadio	3o. Estadio	4o. Estadio
<i>Piper aeruginosibaccum</i>	<0.5	<0.5	<0.5	>0.5
<i>P. hispidum</i>	<0.5	<0.5	<0.5	>0.5
<i>P. patulum</i>	>0.5	>0.5	>0.5	>0.5
<i>P. auritum</i>	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
<i>P. aduncum</i>	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Actividad Antimicrobiana: En el Método de dilución mg/mL, se evaluó la actividad contra bacterias y levaduras y todas las especies presentaron actividad a 0.1 mg/mL contra *M. smegmatis* y *B. subtilis*. La evaluación contra *C. albicans*, *C. neoformans* y *E. coli* no se presentó crecimiento ni en los controles negativos por lo que es necesario repetir la prueba.

Cuadro No. 6

Especie	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Piper aeruginosibaccum</i>	>0.1	>0.1	<0.1	<0.1	>0.1	SC	SC	>0.1
<i>P. hispidum</i>	>0.1	>0.1	<0.1	<0.1	>0.1	SC	SC	>0.1
<i>P. patulum</i>	>0.1	>0.1	<0.1	<0.1	>0.1	SC	SC	SC
<i>P. auritum</i>	>0.1	>0.1	<0.1	<0.1	>0.1	SC	SC	SC
<i>P. aduncum</i>	>0.1	>0.1	<0.1	<0.1	>0.1	SC	SC	SC

A: *S. aureus*; B: *S. typhi*; C: *M. smegmatis*; D: *B. subtilis*; E: *P. aeruginosa*; F: *C. albicans*; G: *C. neoformans*; H: *E. coli*. SC: sin crecimiento en controles negativos.

Método de disco: Se midieron los halos de inhibición en cada uno de los discos, a los cuales se aplicó 10 µL del aceite y se observó actividad para la mayoría de los aceites evaluados. con respecto a las levaduras y *E. coli* no se observó crecimiento en los controles por lo que es recomendable repetir la prueba.

Cuadro No. 7

Especie	A (mm)	B (mm)	C	D	E
<i>Piper aeruginosibaccum</i>	13.0	13.67	SC	SC	SC
<i>P. hispidum</i>	5.70	11.33	SC	SC	SC
<i>P. patulum</i>	12.90	10.65	SC	SC	SC
<i>P. auritum</i>	12.96	9.77	SC	SC	SC
<i>P. aduncum</i>	3.67	11.78	SC	SC	SC
Ketoconazol	15.0	14.03	SC	SC	SC
Penicilina	1.50	11.67	SC	SC	SC

A: *M. smegmatis*; B: *B. subtilis*; C: *C. albicans*; D: *C. neoformans*; E: *E. coli*.

SC: sin crecimiento en controles negativos.

Interpretación: > 6 mm es negativo; 6-9 mm es intermedio y < 9 mm es positivo.

Actividad Citotóxica: En la fase de tamizaje se evaluaron los aceites esenciales a una concentración de 0.5 mg/mL y se observó muerte total de los nauplios de *A. salina* en cuatro de los aceites evaluados excepto en *P. auritum*.

Cuadro No. 8

Especie	Nauplios vivos al inicio de la prueba			Nauplios vivos al final de la prueba		
<i>Piper aeruginosibaccum</i>	12	13	12	0	0	0
<i>P. hispidum</i>	12	12	12	0	0	0
<i>P. patulum</i>	10	10	10	0	0	0
<i>P. auritum</i>	10	11	12	10	11	12
<i>P. aduncum</i>	10	12	10	0	0	0

Tamizaje Fitoquímico

Las pruebas cualitativas (precipitación, coloración, test de espuma, etc), evidenciaron la presencia de los metabolitos, por lo que se realizó la CCF; en este cuadro se muestra el número de bandas presentes utilizando la fase móvil descrita en la literatura para cada metabolito.

Cuadro No. 14

Especie	Flavonoides	Saponinas	Aceite Esencial	Alcaloides	Cumarinas	Principios Amargos	Antraquinonas
<i>P. aeruginosibaccum</i>	5	2	2	3	—	6	2
<i>P. hispidum</i>	1	4	3	3	—	4	1
<i>P. patulum</i>	5	4	3	3	—	5	—
<i>P. auritum</i>	4	2	2	3	3	7	1
<i>P. aduncum</i>	5	3	3	3	—	6	1

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se identificaron cinco especies de *Piper* de las cuales cuatro son nativas y se distribuyen principalmente en Mesoamérica. La colecta de la muestra se desarrolló en Izabal, Alta Verapaz y Suchitepéquez, que de acuerdo a la Flora de Guatemala se encuentran una mayor distribución de especies en dichos lugares.

En la extracción de aceite esencial se observó que *P. auritum* presenta un mayor rendimiento de aceite (2.0%) seguida de *P. aduncum*, *P. hispidum*, *P. patulum* y la de menor rendimiento es *P. aeruginosibaccum* (0.3%).

De acuerdo a la composición química se observó que *P. auritum* y *P. hispidum* presentan mayor número de compuestos, identificándose 18 compuestos para cada una de ellas, seguida de *P. patulum* con 15 compuestos, *P. aeruginosibaccum* 8 y *P. aduncum* 7.

En general, los aceites esenciales de las especies de *Piper* investigadas muestran un patrón de composición similar al descrito para otras especies latinoamericanas del género. En ellas predominan los monoterpenos, a diferencia de las esencias de origen africano y asiático, en las cuales los fenilpropanoides suelen constituir el grupo mayoritario de constituyentes.

Respecto a la actividad biológica ensayada se evaluó mediante el método de dilución, el cual presentó algunos inconvenientes, la dilución del aceite en el agar se dificulta por lo que es necesario agregar un disolvente orgánico como el dimetilsulfóxido, el cual si se agrega en dosis muy altas inhibe el crecimiento de algunos microorganismos. Otra limitante es la cantidad de aceite, ya que en el caso de algunas especies los rendimientos son bajos, por lo que se evaluó una etapa de tamizaje únicamente, la cual fue confirmada con el método de difusión de disco, en las bacterias que fueron inhibidas por el aceite esencial, y que mostraron crecimiento en los controles, mediante el método de dilución. En el caso de *E. coli*, y levaduras como *C. albicans* y *C. neoformans* se presentaron problemas de crecimiento aún en los controles, ya que presentaron muy poco crecimiento; también se observó en algunas repeticiones crecimiento del microorganismo y en otras no se observó, por lo que en este caso es necesario repetir la prueba, ya que hay problemas en la metodología y manipulación de los microorganismos; dicho problema se presentó en ambos métodos.

Se observó que todos los aceites de *Piper* presentan actividad biológica contra *M. smegmatis* y *B. subtilis* a una concentración menor de 0.1 mg/mL. En el método de difusión se observaron halos de inhibición muy efectivos comparados con las drogas de control (penicilina y ketoconazol), presentando *P. aeruginosibaccum* la mayor actividad.

En la evaluación de la actividad insecticida se confirmó la actividad contra *A. aegypti* hasta el tercer estadio a una concentración menor de 0.5mg/mL para *P. auritum* y *P. aduncum*, mientras que las otras especies fueron activas hasta el segundo estadio.

En la evaluación contra *A. albimanus* se demostró actividad hasta el cuarto estadio a una concentración menor de 0.5mg/mL en *P. auritum* y *P. aduncum* y hasta el tercer estadio en las otras especies.

En la actividad citotóxica se evaluaron los aceites esenciales a una concentración de 0.5 mg/mL y se observó muerte total de los nauplios de *A. salina* en cuatro de los aceites evaluados excepto en *P. auritum*.

El tamizaje fitoquímico realizado permitió identificar los metabolitos secundarios presentes en las especies, se observaron flavonoides, saponinas, principios amargos, alcaloides y aceite esencial en todas las especies, las cumarinas se encontraron únicamente en *P. auritum*, y antraquinonas en muy poca cantidad en *P. auritum*, *P. aduncum*, *P. aeruginosibaccum* y *P. hispidum*.

CONCLUSIONES

1. La especie que presenta mayor rendimiento de aceite esencial es *P. auritum* (2.0%) seguida de *P. aduncum*, *P. hispidum*, *P. patulum* y la de menor rendimiento es *P. aeruginosibaccum* (0.3%).
2. En las especies de *Piper* se identificaron como componentes mayoritarios monoterpenos y se observó que *P. auritum* y *P. hispidum* presentan mayor número de compuestos, seguido de *P. patulum*, *P. aeruginosibaccum* y *P. aduncum*.
3. Los componentes mayoritarios fueron para *P. aeruginosibaccum* b-pineno, *P. hispidum* (-) espatulenol, *P. patulum* benzonitro, *P. auritum* cis-azarona y *P. aduncum* el dillapiol.
4. Los aceites esenciales de *Piper* presentan actividad contra *M. smegmatis* y *B. subtilis* a una concentración menor de 0.1mg/mL, presentando *P. aeruginosibaccum* la mayor actividad.

5. Los aceites esenciales de las especies de *Piper* presentan actividad contra *A. albimanus* y *A. aegypti* a una concentración menor de 0.5 mg/mL.
6. Los aceites esenciales de *P. aeruginosibaccum*, *P. aduncum*, *P. hispidum* y *P. patulum* presentaron actividad citotóxica a una concentración menor de 0.5 mg/mL.
7. Mediante el tamizaje fitoquímico se identificaron flavonoides, saponinas, principios amargos, alcaloides y aceite esencial en todas las especies, cumarinas únicamente en *P. auritum*, y antraquinonas en muy poca cantidad en *P. auritum*, *P. aduncum*, *P. aeruginosibaccum* y *P. hispidum*.
8. El método de difusión en disco resulta ser más efectivo en la evaluación de la actividad antimicrobiana, ya que por las características de algunos aceites esenciales, en el método de dilución se dificulta la dispersión del aceite en el medio de cultivo.
9. De la revisión bibliográfica de cada una de las especies de *Piper* se elaboró una ficha con información botánica, farmacológica y química.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar especies de *Piper* de otras regiones del país para continuar con los estudios químicos y biológicos de este género.
2. Purificar las cepas de los microorganismos que presentaron problemas de crecimiento para completar el estudio.
3. Determinar la concentración mínima inhibitoria o dosis letal media de los aceites que presentaron actividad en la fase de tamizaje.
4. Evaluar la actividad biológica de los aceites esenciales utilizando el método de difusión en disco para obtener mejores resultados.

5. Completar los estudios cromatográficos para cuantificar los componentes presentes en los aceites esenciales de las diferentes especies.
6. Evaluar la actividad biológica y ampliar los estudios fitoquímicos en extractos con diferentes disolventes de las especies en estudio.
7. Realizar el tamizaje farmacológico de las especies para validar su uso tradicional.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT), Laboratorio de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Laboratorio de Bioensayos de la Escuela de Química Biológica y Herbario del Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) de la Facultad de CCQQ y Farmacia, Depto de Entomología del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y Laboratorio Fitofarmacéutico Farmaya S.A.

Al Proyecto "Caracterización de extractos vegetales y aceites esenciales como nuevos recursos para el desarrollo agroindustrial, fase III" financiado por la Dirección General de Investigación y proyecto Botanicals for Menopause from Central America (NIH/UIC).

REFERENCIAS

1. Anderson JE. *et al.* A blind comparison of simple benchtop Biossay and human tumor cell citotoxicities as antitumor prescreens. *Phytochem Anal.* 1991; 2:107-111.
2. Bandoni A. Los Recursos Vegetales Aromáticos en Latinoamérica. La Plata, Ed. Univ. Nac. de la Plata, 2000. 410 p.
3. BASE DE DATOS NAPRALERT 2005.
4. Bauer AW *et al.* Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *Am J Clin Pathol.* 1966; 36: 493-496.

5. Brancato FP, Golding NS. The diameter of the mould colony as a reliable measure of growth. *Mycol.* 1953; 45:848-864.
6. BRITISH HERBAL PHARMACOPEIA. London: Department of Health, Social Services and Public Safety, 2002.
7. Cáceres A. *et al.* Screening of antimicrobial activity of plants popularly used in Guatemala for the treatment of dermatomucosal diseases. *J Ethnopharmacol.* 1987; 20:223-237.
8. Cáceres A. *Plantas de Uso Medicinal en Guatemala.* Ed. Universitaria. 1996. 402 p.
9. Cañigueral S. Identidad y pureza de drogas vegetales y extractos. Seminario Taller sobre Estandarización de Extractos Vegetales y Garantía de Calidad de Productos Fitoterápicos, Cartagena, Colombia, 4-8 de agosto, 2003.
10. Cleaves C. Etnobotánica participativa en siete comunidades de la zona de influencia del Parque Nacional Laguna Lachúa, Cobán, Alta Verapaz. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Biología) 2001. 282 p.
11. Dias dos Santos P. *et al.* Essential oil analysis of 10 *Piperaceae* species from the Brazilian Atlantic forest. *Phytochem.* 2001; (58): 547-551.
12. Díaz D, Dorado PJ. Constituyentes químicos de las hojas de *Piper lenticellosum* C. D.C. *Rev Latinoamer Quím.* 1986; 17(1-2):58-60
13. Díaz P. *et al.* New C6-C3 and C6-C1 compounds from *Piper lenticellosum*. *J Nat Prod.* 1986; 49(4):690-691.
14. Duke JA. *Handbook of Medicinal Herbs.* CRC Press, Boca Raton. 1985; 378-383, 521, 563 pp.
15. Fonegra R. Ed. Simposio sobre Plantas Medicinales y Aromáticas, Curso Nacional para el Conocimiento de las Plantas Medicinales y Aromáticas. Documentos Ocasionales No. 2 Herbario Universidad de Antioquia. 349 p.
16. Hersch-Martínez P. *et al.*, Antibacterial effects of commercial essential oils over locally prevalent pathogenic strains in Mexico. *Fitoterapia.* 2005; 76:453-457.
17. Jaki B. *et al.* Biological screening of cyanobacteria for antimicrobial and molluscicidal activity, brine shrimp lethality and cytotoxicity. *Pharma Biol.* 1999; 37:138-143.

18. Joly AB. Botânica-Introdução á Taxonomia Vegetal. Companhia Editora Nacional, São Paulo, Brazil. 1977.
19. Kuklinski C. Farmacognosia. Estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural. Omega. Barcelona. 2000. 515 p.
20. Lock O. Investigación Fitoquímica. 2ª. Ed. Fondo Editorial. Perú. 1994. 300 p.
21. MacRae WD, Hudson JB, Towers GHN. Studies on the pharmacological activity of Amazonian Euphorbiaceae. J Ethnopharmacol. 1988; 22:143-172.
22. MANUAL DE OPERACIONES. Procedimiento Estándar de Operación. Laboratorio de Investigación de Productos Naturales 2005.
23. Martins AP. *et al.* Essential oils from four *Piper* Species. Phytochem. 1998; 49(7): 2019-2023.
24. Meyer BN. *et al.* Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. Planta Med. 1982; 45:31-34.
25. Michael A. *et al.* *Artemia salina* as a test organism for bioassay. Science. 1956; 123:464.
26. Miller JN, Miller JC. Estadística y Quimiometría para Química Analítica. 4ta. Edición. Printice Hall, España 2002. pp 228-232.
27. Mitscher LA. *et al.* Antimicrobial agents from higher plants. I. Introduction rationale and methodology. Lloydia. 1972; 35:157-166.
28. Moreira DL. *et al.* Essential oil analysis of two *Piper* species (Piperaceae). An. Acad Bras Ci. 1998; 70(4) 751-754.
29. Mundina M. *et al.* Leaf essential oils of three Panamanian *Piper* species. Phytochem. 1998; 47(7):1277-1282.
30. Orjala J. *et al.* Aduncamide, a Cytotoxic and antibacterial beta-Phenylethylamine derived amide from *Piper aduncum*. Nat Product Lett. 1993; 23: 231-236.
31. Parmar, VS. *et al.* Phytochemistry of the genus *Piper*. Phytochem. 1997; 46(4): 597-673.

32. REAL FARMACOEPEA ESPAÑOLA. 2ª Ed. Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo. 2002. 2801 p.
33. Rodríguez J. Suárez Y. Estudio fitoquímico del aceite esencial de *Piper lenticellum* C. DC. Segunda parte y determinación de la actividad del aceite sobre la motilidad de la lombriz de tierra (*Andiodrilus bogotensis*). 1981.
34. Sacchetti G. *et al.* Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. Food Chem. 2005; 91:621-632.
35. Sáez J. *et al.* Piperlonguminina y estigmasterol, compuestos de raíces y tallos de *Piper auritum*. Actividad insecticida de extractos. Rev Colom Quim. 1998; 27(1):77.
36. Santa Cruz L. Manual: Selección Fitoquímica, Guía Práctica para los laboratorios de Química de Productos Naturales y Fitoquímica. USAC. Guatemala. 92 p.
37. Santana AI. *et al.* Composición química de aceites esenciales de *Piper augustum*, *Piper corrugatum* y *Piper darienense* de Panamá. Poster. Centro de Investigaciones de la Flora Panameña.
38. Santos PR. *et al.* Essential oil analysis of 10 Piperaceae species from the Brazilian Atlantic forest. Phytochem. 2001; 58: 547-551.
39. Sharapin N. Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos. Santafé de Bogotá: Convenio Andrés Bello y CYTED, 2000. 247 p.
40. Solís P. *et al.* Manual de Caracterización y Análisis de Drogas Vegetales y Productos Fitoterapéuticos. Proyecto Desarrollo de Tecnología de Cultivo de Plantas Medicinales y Producción de Fitoterápicos (OEA/AICD/AE089/03) 2005. 132 p.
41. Solís PN. *et al.* A microwell cytotoxicity assay using *Artemia salina* (Brine shrimp). Planta Med. 1993; 59:250-252.
42. Standley PC. Steyermark JA. Flora of Guatemala. Fieldiana: Botany 1952. 24(3): 275-337 p.
43. Stevens, WD. *et al.* Flora de Nicaragua. USA. Missouri Botanical Garden Press. 2001. (3): 2510.

44. Trease E. Farmacognosia. 13ª. Edición. México. Interamericana. McGraw Hill. 1991. 261-280 pp.
45. Trelease W. Yuncker TG. The Piperaceae of Northern South America. Ed. University of Illinois Press, Urbana, Tomo I. 1950. 247-249 pp.
46. Vila R. Reing M. Métodos de Control de Calidad. Madaus, UB Virtual, Imicromat. 2003. 39 p.
47. Virinder S. *et al.* Phytochemistry of the genus *Piper*. *Phytochem.* 1997; 46(4): 591-673.
48. Wagner H. *et al.* Plant Drug Analysis. Berlin, Springer-Verlang. 1984. 320 p.

* Laboratorio de Investigación de Productos Naturales, Escuela de Química Farmacéutica.

** Depto de Análisis Inorgánico, Escuela de Química.

*** Laboratorio de Toxicología, Escuela de Química Farmacéutica.

**** Laboratorio de Bioensayos, Escuela de Química Biológica,

***** Laboratorio Farmaya S.A y Herbario CECON.

EL USO DE SURFACTANTES PARA AUMENTAR LA EFICACIA DE HERBICIDAS POSTEMERGENTES

Ramiro Arnoldo López Pineda*

Claudio Andrés Alister Herdener**

Marcelo Kogan Alterman**



INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen en el mercado guatemalteco más de 10 compuestos adyuvantes, productos que, según definición, al ser agregados al tanque de mezcla mejoran la características de ésta o la eficacia del tratamiento herbicida. Muchos de estos adyuvantes son llamados surfactantes. El término surfactante corresponde a productos capaces de reducir la tensión superficial del agua, mejorando la emulsión de los compuestos herbicidas, dispersión, mojamiento, humectación y otras propiedades que modifican la superficie de contacto de los líquidos, o entre un líquido y una superficie. Es por esto, que para considerar a un producto como surfactante, éste debe cumplir con una característica primordial: mostrar una clara e importante actividad hipotensora y es por esto que no todos los adyuvantes son surfactantes, debido a que algunos solo producen una leve disminución en la tensión superficial de la solución herbicida, o sea que sus características hipotensoras son mínimas.

La mayoría de herbicidas formulados comercialmente, contienen algún producto adyuvante en su formulación, ya sea para mejorar la solubilidad del ingrediente activo en el agua, para lograr mejores emulsiones, y, en algunos casos, para aumentar la actividad herbicida del ingrediente activo. Sin embargo, algunas empresas de agroquímicos y los usuarios han impulsado un uso adicional de surfactante, el cual no siempre es racional (sino tiene características comerciales) de surfactantes al momento de hacer la mezcla en el tanque del equipo de aplicación, a fin de aumentar la actividad herbicida y en otros casos el de disminuir el período de tiempo necesario para la absorción foliar del producto, evitando así pérdidas que se producirían con el lavado a consecuencia de lluvias post aplicación, lo que se conoce como período libre de precipitación.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SURFACTANTES

En general un surfactante, o "*agente activo de superficie*", como su nombre lo indica, es capaz de disminuir la energía de los enlaces de las moléculas de agua, o sea reducir la fuerza de tensión superficial del agua, y de esta reducción de la tensión se desprenden muchos otros efectos. Así en las etiquetas de algunos productos de este tipo se encuentran términos como: hipotensores, adherentes, humectantes, dispersantes, e incluso, acidificantes, activadores, depositantes y protectores contra radiación UV. Cualquier compuesto al producir una disminución de la tensión superficial del agua, aumenta la superficie de contacto de la gota, y por ende producirá una mayor dispersión de esta, con un aumento del mojado, el cual será mayor o menor dependiendo del tipo de surfactante y de la hoja sobre la cual se haya aplicado la solución (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tensión superficial, mojado relativo de las soluciones surfactantes respecto al tipo de hoja y tiempo de secado de la gota aplicada. (Gota utilizada de 10 μ L y concentración de los surfactantes 0.3 % v/v).

Surfactante	Tensión superficial ^{1/} (dinas cm ⁻¹)	Relación de mojado respecto al agua ^{1/}		Tiempo de secado de la gota de agua ^{1/} (minutos)
		Maíz	Girasol	
Agua pura	74.3	1.0	1.0	80
Agua + Aceite	44.3	2.0	1.5	44
Agua + Surfactante Convencional	33.5	3.3	1.9	31
Agua + Surfactante Siliconado	24.3	33.5	6.8	6

1. Mediciones realizadas en el Laboratorio de Investigación del Departamento de Ciencias Vegetales (LIDCV) de la FAIF.

Un agente tensoactivo o de superficie (surfactante) posee en su estructura química dos regiones claramente definidas. La primera es la porción lipofílica (no polar) que es afín con la mayoría de los compuestos orgánicos no solubles en agua. Esta porción corresponde a una cadena de grupos hidrocarbonados de una longitud variable. La segunda porción es hidrofílica (polar), y está compuesta por una cadena de grupos oxietileno ($\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-O}$), los que tienen afinidad con el agua (Figura 1). La cantidad de moléculas de oxietileno en la cadena hidrofílica con relación al número de grupos hidrocarbonados de la región lipofílica se conoce como balance hidrofílico-lipofílico (BHL). Según el BHL un surfactante presentará propiedades específicas, las que pueden variar desde agentes emulsionantes (BHL 4 a 6) hasta agentes detergentes (BHL >13).

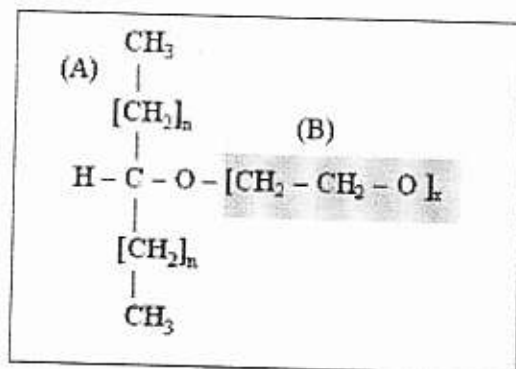


Figura 1. Estructura típica de un surfactante convencional no iónico (Eter alquil polioxietilen glicol). (A) corresponde a la cadena hidrocarbonada o grupo alquil (porción lipofílica), donde n es el número de grupos (CH_2). (B) porción hidrofílica del surfactante, donde x es el número de grupos oxietilenos (OE).

Los agentes tensoactivos se pueden dividir en tres grupos, según la carga eléctrica de su molécula:

- Iónicos:** productos que al ser agregados al agua forman cargas positivas (catiónico), o cargas negativas (aniónico). Son buenos agentes surfactantes, pero pueden reaccionar con sales presentes en la solución.
- Anfotéricos:** productos que según el pH de la solución pueden presentar tanto cargas positivas como negativas, al mismo tiempo.
- No iónicos:** productos que no presentan cargas en soluciones acuosas. Son los más utilizados en agricultura debido a que no interactúan con otros compuestos químicos y/o elementos en suspensión, además de presentar una baja toxicidad y fitotoxicidad.

En los últimos años se produjo el ingreso al mercado de un nuevo tipo de surfactantes, los conocidos como "surfactantes organosiliconados" o "surfactantes siliconados" (como ejemplos de nombres comerciales Break, Galactic, Freeway, Affix, entre otros). Estos compuestos presentan básicamente la misma estructura que los surfactantes convencionales, sin embargo, su porción lipofílica (que también presenta cierta actividad hidrofílica) está compuesta por grupos xiloxanos que poseen un grupo de silicio (Si) en su estructura, derivando de ahí su nombre de siliconados u organosiliconados, además de la cadena hidrofílica de oxietileno (Figura 2). En estos compuestos sobresale la característica, respecto a los surfactantes convencionales (Zoom, Stik, Kaytar, LI-700, Limonoil, entre otros) de ser potentes hipotensores (Figura 3).

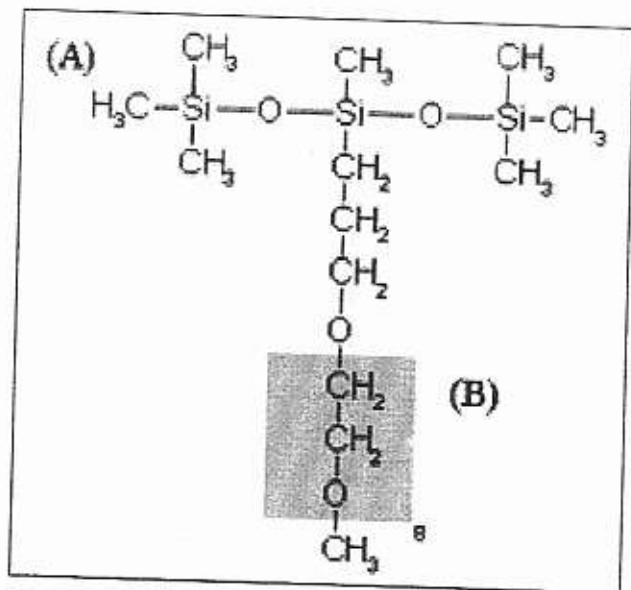


Figura 2. Estructura básica de un surfactante organosiliconado. (A) corresponde a la cadena de trixiloxanos (porción lipofílica-hidrofílica). (B) grupos oxietilenos (en este caso 8 OE), porción hidrofílica.

Los aceites (Dash HC, Winspray, y otros) corresponden a un tercer gran grupo de adyuvantes que pueden ser considerados como agentes surfactantes. Sin embargo, estos compuestos, derivados principalmente del petróleo o en algunos casos de aceites vegetales, no son agentes que muestren una importante actividad hipotensora (Figura 3). A pesar de ello, su uso en mezcla con ciertos herbicidas postemergentes, en especial graminicidas (ejemplo Galant, Leopard, etc.) resulta en un claro aumento de la actividad de dichos herbicidas. En la actualidad, casi todos, por no decir todos estos herbicidas (graminicidas selectivos y no selectivos) contienen en su formulación comercial, en general, un aceite y surfactante.

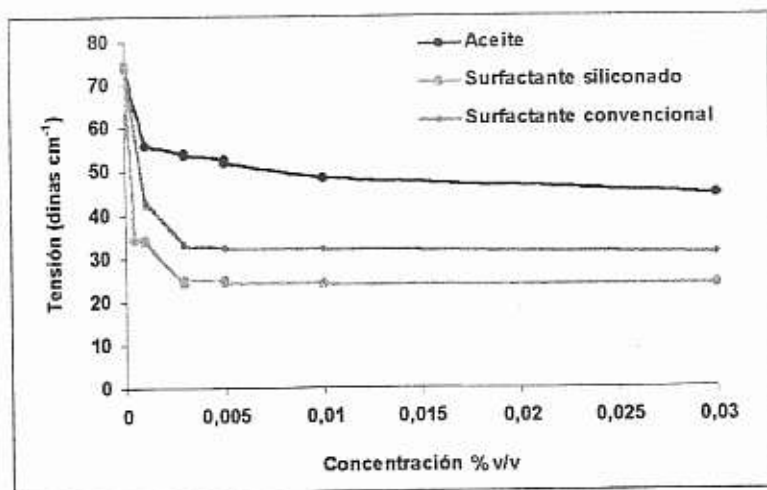


Figura 3. Curvas de tensión superficial, medidas por el método del anillo de Du Nouy, de emulsiones de aceite-agua, y soluciones surfactante siliconado-agua y surfactante convencional-agua. Las curvas reflejan el comportamiento general de estos tres grupos de surfactantes (Tensión superficial del agua 74 dinas cm⁻¹).

Mediciones realizadas en el Laboratorio de Investigación del Dpto de Ciencias Vegetales (LIDCV) de la FAIF.

Cabe preguntarse ¿por qué se hace tanto énfasis en lograr una disminución de la tensión superficial de la solución herbicida a asperjar?. Para responderse esta pregunta es necesario considerar que la cantidad de herbicida que logre penetrar a la planta determinará la efectividad del tratamiento. Así, se puede pensar que, al disminuir la tensión superficial de la solución herbicida y, por ende, aumentar la superficie de mojado se debería lograr un aumento en la absorción foliar. Además, en el caso de especies con hojas pubescentes el uso de hipotensores permitiría la llegada de la solución aplicada directamente a la epidermis de la hoja, no quedando retenida en los pelos o tricomas. Por otra parte, se ha mencionado que algunos de estos productos promoverían un cambio en las ceras epicuticulares de la

hoja, modificando en cierto grado la permeabilidad de la epidermis, permitiendo con esto un paso facilitado del herbicida. También se argumenta que al lograr reducciones de las tensiones superficiales de la solución herbicida bajo 30 dinas cm^{-1} se produciría una penetración estomática de los herbicidas, lo que sería aplicable a la acción de los surfactantes siliconados.

Si bien es cierto, que los surfactantes (hipotensores) producen los efectos anteriormente descritos, los cuales son en su mayoría cuantificables, la relación de ellos con las respuestas biológicas que se deberían obtener como consecuencia de su uso no es clara, ni directa. O sea, es crucial determinar si el hecho de disminuir la tensión superficial de la solución herbicida por el uso extra de un surfactante, y por lo tanto aumentar el mojamiento, se traduce en un mejor control con un determinado herbicida sobre una especie en particular o en varias especies de malezas, o haría posible disminuir la dosis del herbicida al aumentar supuestamente la absorción de éste. Interrogantes como ésta y muchas otras deben ser aclaradas ante recomendar el uso de agregar uno u otro surfactante con mezcla herbicida comercial-agua.

EFFECTO DE LOS SURFACTANTES SOBRE LA ACTIVIDAD DE LOS TRATAMIENTOS HERBICIDAS.

Existen numerosas investigaciones en torno al resultado que se lograría al agregar un surfactante adicional a un herbicida formulado. Sin embargo, estos resultados son muy poco consistentes, encontrándose casos en los cuales se ha logrado una mejoría en la actividad de ciertos herbicidas, otros en los que el uso de un surfactante no muestra ningún efecto beneficioso, hasta situaciones en las que se ha producido una disminución de la actividad del herbicida aplicado, o sea, antagonismo. Estas respuestas tan variables se deben a que existen muchos factores que pueden afectar, dentro de los cuales se destacan: el herbicida empleado, la especie de maleza a controlar y su estado de desarrollo. Además, el volumen de mezcla aplicado por hectárea, la dosis del herbicida y el surfactante.

Con el objeto de ilustrar cual podría ser el resultado de agregar surfactante, buscando disminuir la tensión superficial de soluciones provenientes de dos diferentes formulaciones comerciales de un mismo ingrediente activo, se presenta el Cuadro 2. En este se aprecian los valores de tensión superficial y pH para las soluciones de dos productos comerciales, que corresponden a dos sales del ácido N-(fosfonometil) glicina, o sea, glifosato. A ellos se les agregó un surfactante convencional y otro siliconado.

Como puede observarse en el cuadro 2, la tensión superficial de la solución dependió de la formulación utilizada. Así, la tensión superficial de la solución de la formulación comercial del glifosato trimetilsulfonio sódica fue la menor, la que además, fue casi tan baja como la que presentó la solución acuosa del surfactante siliconado. Por otro lado, la solución de la formulación comercial del glifosato sal isopropilamina, presentó una tensión superficial bastante mayor (45 dinas cm^{-1}), pero al incorporarle los surfactantes a esta última, no importando si fue convencional o siliconado, se logró disminuir la tensión superficial a 30 dinas cm^{-1} .

Cuadro 2. Valores de tensión superficial y de pH de las soluciones de dos formulaciones de la sal del ácido N-(fosfonometil) glicina y dos surfactantes.

Soluciones ^{2/}	Tensión superficial ^{3/} (dinas cm^{-1})	pH ^{3/}
Agua pura	73.0-74.0	7.62
Solución glifosato sal isopropilamina ^{1/}	45.0	4.65
Solución glifosato sal trimetilsulfonio sódica ^{1/}	25.0	4.43
Solución surfactante siliconado	23.0	7.52
Solución surfactante convencional	30.0	4.60
Solución glifosato sal isopropilamina + siliconado	30.0	4.62
Solución glifosato sal isopropilamina + convencional	30.0	4.37
Solución glifosato sal trimetilsulfonio + siliconado	24.0	4.51
Solución glifosato sal trimetilsulfonio + convencional	24.0	4.29

1. Glifosato sal isopropilamina (ingrediente activo de Roundup, Rango, Panzer, Polado, Root Out, Atake). Para este estudio se utilizó Panzer, concentración 356 g ea L⁻¹. Glifosato sal trimetilsulfonio sodio (ingrediente activo de Touchdown). Concentración 330 g ea ha⁻¹.
2. Se prepararon soluciones equivalentes a 1.08 kg de ácido de glifosato (ea) ha⁻¹ en un volumen de aplicación de 171 L de agua ha⁻¹. Surfactantes utilizados en dosis de 0.3 % v/v.
3. Mediciones realizadas en el Laboratorio de Investigación del Depto. de Ciencias Vegetales (LIDCV) de la FAIF, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Pero ¿cuál es la utilidad de la información presentada en el Cuadro 2?. Si se vuelve a la hipótesis inicial y central que indica que a una menor tensión superficial de la solución herbicida, mayor será el mojamiento, y por ende una mayor absorción y actividad del herbicida, la formulación de la sal trimetilsulfonio sódica sola o con surfactante (tensión 24 dinas cm⁻¹) debería ser más efectiva que la formulación de la sal isopropilamina, ya sea con surfactante convencional o siliconado (30 dinas cm⁻¹), y esta, a su vez, debería ser más efectiva que la formulación de la sal isopropilamina sin surfactante extra (45 dinas cm⁻¹). Sin embargo, al ver la Figura 4, donde se muestra el efecto de estas soluciones sobre el crecimiento de plantas de sorgo (*Sorghum vulgare*), se aprecia que el resultado biológico no se relacionó con la respuesta esperada en base a las tensiones superficiales de las distintas soluciones. Así, se puede ver, que con el glifosato sal isopropilamina sola o con surfactante se logró el mismo nivel de control, y, ninguna de los dos glifosatos (sales isopropilamina y trimetilsulfonio) pudo contrarrestar el efecto de la ocurrencia de una lluvia seis horas después de la aplicación. De ahí que se puede pensar que la absorción foliar de los herbicidas no mejoró a consecuencia de la reducción de la tensión superficial, incluso la formulación del glifosato sal isopropilamina, que mostró una tensión superficial bastante mayor (45 dinas cm⁻¹), sufrió una pérdida de control debido a la ocurrencia de una lluvia seis horas después de la aspersión, menor que el glifosato sal trimetilsulfonio sódica, que presentó la más baja tensión superficial (23 dinas cm⁻¹).

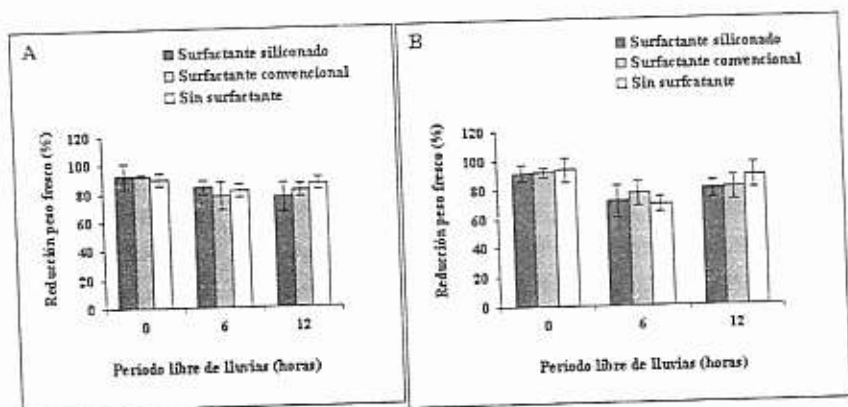


Figura 4. Efecto de la aplicación de dos sales formuladas del ácido N-(fosfonometil) glicina solas, y en mezcla con un surfactante siliconado o con uno convencional sobre el crecimiento de *Sorghum vulgare*. Los resultados están expresados como reducción del peso fresco. (A) Glifosato sal isopropilamina y (B) Glifosato sal trimetilsulfonio sódica. Dosis de los herbicidas 1.08 kg aca^{-1} y surfactantes $0.3 \text{ \% v/v}$. Volumen de aplicación equivalente a 171 L ha^{-1} . (Barras de error indican la desviación estándar).

Esta relación tensión superficial-actividad herbicida se puede analizar desde otro punto de vista al observar la Figura 5. Esta figura muestra los resultados obtenidos al tratar plantas de *Lolium multiflorum* (*Poaceae*, *Liliopsida*) con quizalafop etil, herbicida postemergente graminicida, solo y en mezcla con un surfactante convencional o un aceite. Los resultados muestran que para este tipo de herbicida, la incorporación de un aceite fue capaz de revertir la pérdida de actividad que sufrió el herbicida al ser sometido a una lluvia dos horas después de la aplicación, con lo cual podría inferirse que la tasa de absorción foliar del herbicida aumentó por efecto de la adición del aceite a como adyuvante.

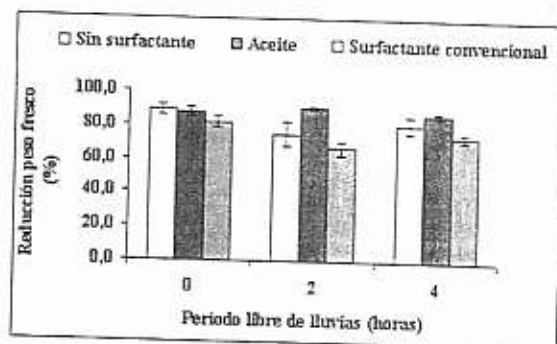


Figura 5. Efecto de la aplicación de quinclorac etil solo y en mezcla con aceite o con un surfactante convencional sobre el crecimiento de plantas de *Lolium multiflorum* medido como la reducción del peso fresco. Dosis herbicida 144 g ia ha^{-1} y surfactantes $0.3 \text{ \% v/v}$. Volumen de aplicación equivalente a 167 L ha^{-1} . (Barras de error indican la desviación estándar).

Sin embargo, con la incorporación del surfactante convencional no ocurrió lo mismo. Si junto con los resultados biológicos obtenidos se analizan valores de tensión superficial de la soluciones aplicadas (Cuadro 3), nuevamente queda de manifiesto que el aumento de la actividad del herbicida no podría explicarse como un efecto de la disminución de la tensión superficial de la solución, sino que supuestamente es debida a un aumento de la penetración del herbicida, debido quizás a un cambio en la permeabilidad de las membranas, o a un aumento de la permanencia de la gota de agua en la hoja (Cuadro 1). Además, puede observarse, al igual que en la Figura 4, que al no existir lavado del herbicida del follaje por efecto de la lluvia, no existió ningún efecto real al adicionar una cantidad extra de aceite o surfactante al producto comercial.

Cuadro 3. Tensión superficial de las diferentes emulsiones de quizalafop etil¹. (Concentración de surfactante 0.3 % v/v).

Herbicida	Solución herbicida aplicada ²		
	Soja	Aceite	Surfactante convencional
Tensión superficial (dinas cm ⁻¹) ³			
quizalafop etil	35.2	35.2	34.8

1. Ingrediente activo del producto comercial Flecha 9.6 EC 96 g ia l⁻¹.
2. Se prepararon emulsiones equivalentes a un volumen de aplicación de Volumen de agua 167 l ha⁻¹, conteniendo el equivalente a 144 g ia, ha⁻¹ del herbicida Flecha
3. Mediciones realizadas en el Laboratorio de Investigación del Dpto de Ciencias Vegetales (LIDCV) de la FAIF.

COMENTARIOS FINALES

El lector podrá concluir que disminuyendo la tensión superficial, para lograr un aumento de la actividad del herbicida no es del todo correcto, ya que, al parecer, las diferencias que existen en el control de las malezas al aplicar una formulación comercial de un herbicida solo o con surfactantes extras no puede atribuirse a una causa clara como un mayor mojamiento logrado por la disminución de la tensión superficial. Además, debe notarse que ciertos productos comerciales ya contienen en sus formulaciones, adyuvantes que ejercen grandes efectos hipotensores, llegando incluso a igualar el efecto que produce un surfactante siliconado y, por ende, agregar otros productos, con el solo fin de disminuir la tensión, para aumentar el mojamiento, es discutible.

Por último, es preciso aclarar que el uso de surfactantes adicionales a la formulación comercial de un herbicida no siempre es un error, como tampoco siempre su uso repercutirá en una mejor respuesta. Lo que se debe tener claro es que la relación herbicida-surfactante es compleja, y va más allá de un simple cambio físico-químico en la mezcla, por lo que deben considerarse las condiciones al momento de la aplicación para decidir respecto al uso y la elección del tipo de surfactante, si éste fuera el caso.

Con este artículo se pretende ofrecer al lector, como potencial usuario de surfactantes, elementos de juicio para apoyarlo en la toma de decisiones. Además, se debe reconocer que se han presentado resultados de los trabajos realizados en el programa Biología de Malezas y Estrategias de control del Departamento de Ciencias Vegetales de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile, que mejor ilustraban los conceptos que se buscaban presentar y discutir, sin que esto signifique la no existencia de otras situaciones en las que sí el uso de adyuvantes sea beneficioso para aumentar la efectividad de un tratamiento herbicida.

BIBLIOGRAFÍA

- Baylis, A. 2000. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest Management Science* 56: 299-308.
- De Ruiter, H; Uffing, A and Meinen, E. 1997. Influence of oils and emulsifiers on the performance of phendimethapham, metoxuron, sethoxydim and quizalafop. *Weed T.*, 11: 290-297.
- Green, J. and Foy, C. 2000. Adjuvants: Test design, interpretation and presentation of results. *Weed T.*, 14: 773-784.
- Harker, K. 1995. Ammonium sulfate effects on the activity of herbicides applied to seeding johnsongrass (*Sorghum halepense*). *Weed T.*, 2: 153-158.
- Hazen, J. 2000. Adjuvants: terminology, classification and chemistry. *Weed T.*, 14: 819-825.
- Hess, F. and Foy, C. 2000. Interaction of surfactants with plant cuticles. *Weed Technology* 14: 807-813.
- Holloway, P. 1995. Structure and chemistry of plant cuticles. *Pesticide Science*, 37: 203-206.
- Miller, D; Griffin J; Richard, E. 1998. Johnsongrass (*Sorghum halepense*) control and rainfastness with glyphosate and adjuvants. *Weed T.*, 12: 617-622.
- Penner, D. 2000. Activator adjuvants. *Weed T.*, 14: 785-791.
- Sun Reddy, K. and Singh, M. 1992. Organosilicone effects on glyphosate efficacy and rain fastness. *Weed T.*, 6: 361-365.

- Sing M, Tan S, and Sharma S. 2002. Adjuvants enhance weed control efficacy of foliar-applied diuron. *Weed T.*, 16: 74-78.
- Stock, D, and Briggs, G. 2000. Physicochemical properties of adjuvants: values and applications: *Weed T.*, 16: 798-806.
- Stougaard R. 1997. Adjuvant combination with quizalofop for wild oat (*Avena fatua*) control in peppermint (*Mentha piperita*). *Weed T.*, 11: 45-50.
- Underwood, A. 2000. Adjuvant trends for the new millennium. *Weed T.*, 14: 765-772.
- Zollinger, R. 2000. Extension perspective on grower confusion in adjuvant selection. *Weed T.*, 14: 814-818.

* Subárea de Protección de Plantas, FAUSAC, Guatemala. e-mail: rrlopez@puc.cl.

**Departamento de Ciencias Vegetales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.

DOCUMENTACIÓN DE LA FLORA CON POTENCIAL TINTÓREO DE LA COMUNIDAD POZO SECO, MUNICIPIO DE CHISEC, ALTA VERAPAZ

Grace Paola Arguijo M.*
Vicente Martínez**
Constantino Reyes**



RESUMEN

Desde la síntesis del primer colorante artificial a mediados del siglo XIX, el interés y uso de tintes de origen natural fue disminuyendo; sin embargo en años recientes, debido a estudios que indicaban daños a la salud por ingestión de productos que contenían ciertos colorantes artificiales, el interés por los tintes o colorantes de origen natural u otros productos naturales, a resurgido. Este nuevo interés abre puertas para la comercialización de productos 100% naturales. La Asociación de Mujeres "Flor de la Montaña", conformada, entre otras, por mujeres de la comunidad de Pozo Seco, Municipio de Chisec, Alta Verapaz, y con apoyo de la Fundación Rigoberta Menchú Tum, han iniciado una micro empresa artesanal, para la elaboración de textiles de algodón, teñidos utilizando plantas. Uno de los problemas que la Asociación ha tenido que enfrentar es la obtención de materia prima tintórea, es decir, conocer qué especies son tintóreas y qué colores se puede obtener. Por consiguiente fue necesario hacer un estudio inicial, que documentara aquellas especies vegetales tintóreas ubicadas dentro o en los alrededores de la comunidad y su valor ecológico. Para ello se registró información que tuviesen personas de la comunidad sobre estas especies por medio de encuestas, se llevaron a

cabo muestreos de la vegetación, se tomaron datos de las especies para la obtención del Índice de Cottam y se investigó sobre el uso de las especies tintóreas encontradas y la forma de propagarlas y darles manejo. Se encontró un total de 35 especies tintóreas, siendo las áreas dentro del casco de la comunidad donde mayor cantidad de especies tintóreas se encontraron.

INTRODUCCIÓN

La iniciación de una microempresa de textiles artesanales elaborados a partir de fibras de algodón y teñidas con especies vegetales, en la comunidad de Pozo Seco, constituye una alternativa de ingreso económico para la familia y una oportunidad para que las mujeres se integren, de forma reconocida, en el desarrollo de su comunidad. La tinción con especies vegetales requiere de: fibra a teñir, especie vegetal de donde se obtendrá el tinte y el mordiente, el cual ayuda a fijar el color a las fibras y puede ser natural o químico. Para hacer sostenible esta microempresa, uno de los puntos a garantizar es la obtención de la materia prima. Para obtener la materia prima no sólo se necesita conocer qué plantas utilizar, sino también garantizar que exista suficiente cantidad de la misma para poder suplir las demandas en cualquier momento. Por consiguiente, es necesario llevar a cabo un estudio que identifique las especies con potencial tintóreo y que dé lineamientos para su propagación y manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La documentación de la flora con potencial tintóreo en la comunidad de Pozo Seco se realizó enfocando el estudio en dos aspectos: la población y la vegetación.

4.1. Obtención e interpretación del conocimiento existente sobre el uso tradicional y reciente de plantas tintóreas de los pobladores de la comunidad Pozo Seco.

En esta primera etapa se registró el conocimiento que las personas

poseen sobre plantas tintóreas. La información que se buscó fue: nombre común de las plantas conocidas o utilizadas para la tinción de fibras, partes de la planta que se utilizan, cómo emplearlas y dónde localizarlas.

El total de personas que se entrevistó fue de 36, número que corresponde al 10% de la población adulta (357). La selección de las personas para la entrevista fue al azar.

4.2. Identificación, determinación y descripción de las especies con potencial tintóreo presentes en el área de la comunidad.

Para identificar, determinar y describir la flora con potencial tintóreo se llevó a cabo muestreos en dos sectores de la comunidad. El primer sector lo constituyó las especies presentes en el casco de la comunidad, ubicadas tanto en los huertos familiares como fuera de estos. El segundo sector incluyó aquellas especies presentes en la "Serranía" que rodea la comunidad, en la cual se pueden encontrar áreas boscosas y que por título de propiedad de la tierra, pertenecen a la comunidad de Pozo Seco.

4.2.1. Muestreo de especies presentes dentro del casco de la comunidad.

A. Huertos familiares

Se realizaron muestreos en 13 huertos familiares, los cuales fueron escogidos al azar. En cada huerto se tomaron datos de especies arbustiva, arbóreas y herbáceas que fueran sembradas por las personas o que hayan recibido o estén recibiendo algún tipo de manejo. Para facilidad en la interpretación de los datos, la vegetación se dividió en dos estratos según su altura. En todos los estratos se tomaron datos de altura total, densidad cobertura y DAP, esto con la finalidad de obtener, posteriormente, el valor ecológico de las especies presentes.

B. Especies fuera de los huertos

Se realizaron varios recorridos por la comunidad tomando muestras botánicas de las especies que se encontraban fuera de los huertos y apuntando, si los poseían, los nombres comunes.

4.2.2. Muestreo de especies presentes en el bosque.

La selección de la ubicación de las unidades de muestreo fue selectivo. Se tomaron en cuenta aquellas áreas que no presentan efectos debido a los incendios, ni intervención intensiva por parte del ser humano.

Se levantaron un total de 8 parcelas de 0.1 Ha de extensión, en donde se tomaron datos de especies arbustiva y arbóreas, con DAP mayores de 10 cm, los cuales fueron divididos en cuatro estratos según su altura: 0-10 mts, 11-20 mts, 21-30 mts y 30 a más mts. En todos los estratos se tomaron datos de altura total, densidad y DAP, esto con la finalidad de obtener, posteriormente, el valor ecológico de las especies presentes.

4.3. Determinación de la importancia ecológica de las especies tintóreas y con potencial tintóreo del área de estudio.

La importancia ecológica de las especies presentes en huertos familiares y en el bosque se determinó utilizando el de Índice de Importancia de Cottam. Este índice no fue aplicado a las especies fuera de los huertos familiares.

Los datos para sacar este índice (cobertura, densidad y DAP), se obtuvieron durante el muestreo de huertos y el levantamiento de unidades muestrales, y la frecuencia se obtuvo en trabajo de gabinete.

Índice de importancia de Cottam

El índice de importancia de Cottam establece la dominancia relativa de las especies tanto dentro de los huertos como en el bosque. La estimación de índice se realizó con la siguiente fórmula:

$$V.I. = Dr + Fr + Cr(Abr)$$

donde:

V.I. = Valor de Importancia de Cottam Cr = cobertura relativa
(arbustos y hierbas)

Dr = densidad relativa Abr = área basal relativa (árboles).

Fr = frecuencia relativa

4.4 Lineamientos para el manejo y/o cultivo de las especies identificadas como tintóreas.

Una vez obtenido el listado de especies procedentes de huertos familiares, fuera de éstos y áreas boscosas, se escogieron las especies identificadas o reportadas como plantas tintóreas, se propuso lineamiento para su manejo agrícola o silvícola basándose en información de personas de la comunidad y referencia bibliográfica.

RESULTADOS

5.1 Conocimiento existente sobre el uso tradicional y reciente de plantas tintóreas de los pobladores de la comunidad Pozo Seco.

Los resultados de la encuesta realizada para establecer si las personas

de Pozo Seco poseen conocimiento sobre plantas tintóreas se presentan a continuación en la Figura 1.

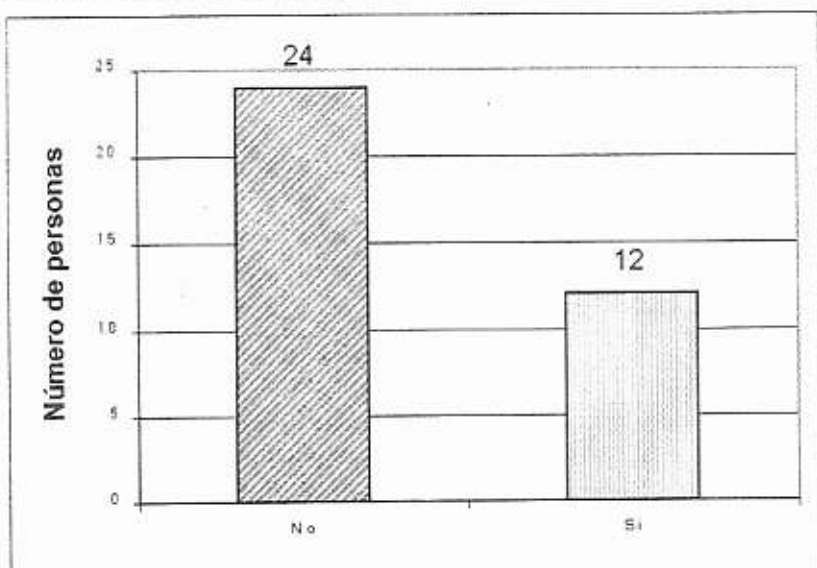


Figura 1. Conocimiento sobre especies tintóreas.

Como se puede observar únicamente 12 (33.33%) personas, de las 36 (100%) entrevistadas, poseen algún tipo de conocimiento sobre plantas tintóreas. Cuando a estas personas se les preguntó acerca de cómo obtuvieron este conocimiento 10 (83.33%) personas respondieron que otras personas, fuera de la familia, les habían contado, 2 (16.67 %) mencionaron que realizando pruebas habían adquirido el conocimiento y 0 (0%) por tradición familiar. Este resultado se pudo deber a lo siguiente: cuando se realizaron las encuestas se encontró que el 80.56% de personas, no habían nacido en la comunidad, sino que se habían trasladado de otros municipios de Alta Verapaz u otros departamentos en busca de tierras para cultivar. Cuando las personas llegaron a esta comunidad sólo existía bosque, por lo que las actividades a realizar se enfocaron en la construcción de viviendas y en preparación de áreas para cultivo. Por consiguiente, si en algún momento las familias poseyeron conocimiento sobre el uso de plantas tintóreas, éste no fue trasladado por la falta de utilidad, que en el momento de búsqueda de tierra, representaba.

Cuadro 1. Listado de especies tintóreas presentes en el área de Pozo Seco.

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Achiote	<i>Caesalpinia pulcherrima</i> L.	Guayaba	<i>Psidium guajaba</i> L.
Aguacate	<i>Bixa orellana</i> L.	Guineo	<i>Musa sapientum</i> L.
Apazote	<i>Persea americana</i> Mill.	Jocote Marañón	<i>Anacardium occidentale</i> L.
Anona	<i>Teloxys ambrosioides</i> L.	Macuy	<i>Solanum americanum</i> Miller.
Anona Silvestre	<i>Annona reticulata</i> L.	Mango	<i>Mangifera indica</i> L.
Barajo	<i>Annona sp.</i>	Morro	<i>Crescentia cujete</i> L.
	<i>Cassia alata</i> L.	Nance	<i>Byrsoneima crassifolia</i> (L.) H.B.K.
Bledo	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Naranjillo	<i>Trichillia</i> sp.
Cacho de venado	<i>Acacia</i> sp.	Palo de pito	<i>Erythrina</i> sp.
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> G. King	Pelo de león	<i>Cuscuta</i> sp.
Cedro	<i>Cedrela mexicana</i> M. Roem	Santo Domingo	<i>Baccharis trinervis</i> (Lam.) Persoon.
Clavel	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	Sunza	<i>Licania platyphus</i> (Hemsl.) Frisb.
Coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	Ten	<i>Tectona grandis</i> L. Crater. sp.
Cola de coche	<i>Platycodon arborescens</i> (L.) Urban	Tem	<i>Justicia tinctoria</i> (Hemsl.) D. Gibson
Cúrcuma	<i>Curcuma longa</i> L.	Tinta	
Flor de muerto	<i>Tagetes tenuifolia</i> Cav.	Tres puntas	<i>Veronica lobata</i> (L.) R.
Frijol abono	<i>Mucuna pruriens</i> (L.) Swartz		
Guarano	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertoloni		

5.2 Especies con potencial tintóreo presentes en el área de la comunidad.

Como se puede observar en la Figura 2, el área que presenta el mayor número de especies con potencial tintóreo (Cuadro 1), es la perteneciente al sector de la comunidad fuera de los huertos familiares. Sin embargo si se toma en cuenta la proporción de especies tintóreas encontradas con relación al número total de especies presentes por área donde se realiza-

ron los muestreos, se observa que en los huertos familiares se encuentra la mayor proporción de especies. De las 35 especies reportadas como tintóreas para la comunidad, se encontró información bibliográfica para 33. Se encontró que en 12 de las especies, la corteza es la fuente de colorante, en 9 es el fruto, en 6 las hojas, en 5 el leño, en 4 el tallo, en 3 flores, en 2 la semilla, en 2 la raíz y en una la savia.

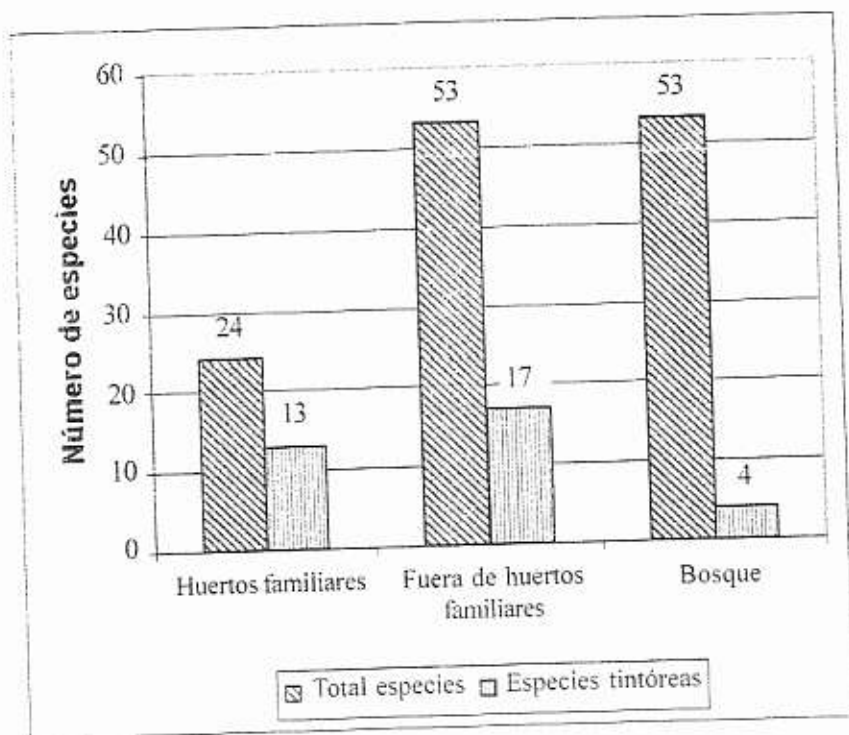


Figura 2. Número de especies tintóreas presentes en el área de la comunidad de Pozo Seco.

5.5 Propagación y manejo de las especies.

De las 35 especies con potencial tintóreo 27 (73%) pueden reproducirse por semillas, 7 (18.9%) por estaca, 6 (16.22%) por injerto, 5 (13.51%) por acodo, 1 (2.07%) por rizoma y 4 (10.81%) nace únicamente por regeneración natural. Esto quiere decir que de las 35 especies con po-

tencial tintóreo 31 (88.57%) son especies domesticadas ya sea en forma completa o parcialmente.

5.6 Importancia ecológica de las especies tintóreas.

En los huertos familiares aunque el mayor índice de importancia lo obtuvo especies que no son tintóreas, el valor de éstos, en la mayoría de los casos, se encuentra entre los más altos. La razón de esto es que estas especies tienen valor para los pobladores debido a su función como especies alimenticias.

Los mayores valores de importancia para las especies tintóreas presentes en el bosque, se pueden encontrar en el estrato de 31 a más metros de altura. Aunque en este estrato el número de especies y de individuos es menor que en los demás estratos, la AB relativa y Frelativa es mayor. En los demás estratos el valor de importancia no varía mucho entre las especies presentes en cada estrato, ni en los valores de una misma especie en los diferentes estratos. Esto se podría deber a que, aunque el área basal aumente en cada estrato, la densidad y la frecuencia se mantienen casi estables, y esta estabilidad se puede deber a que las especies, reportadas como tintóreas, dentro del bosque, no poseen un valor de uso importante para las personas de la comunidad.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1 La mayor parte de la población de Pozo Seco no tiene conocimiento sobre el uso de plantas para teñir, y el conocimiento que tienen lo adquirieron de otra persona fuera del círculo familiar. Ninguna de estas persona busca incrementar su conocimiento sobre este tema, las razones de ello podrían ser de que esta actividad no representa, actualmente, ningún ingreso económico; si esta situación cambiara, posiblemente las personas tendrían más interés en ello.
- 6.2 El área que presenta el mayor número de especies con potencial tintóreo es la perteneciente al sector de la comuni-

dad, fuera de los huertos familiares. Sin embargo si se toma en cuenta la proporción de especies tintóreas encontradas con relación al número total de especies presentes en cada área donde se realizaron los muestreos, se tiene que en los huertos familiares se encuentra la mayor proporción, es decir de las 24 especies encontradas (100%), 14 (58%) son tintóreas, para el área fuera de los huertos se tiene que 29 % (17) son especies tintóreas y en el área de bosque 11.43% (4) son especies tintóreas. Por consiguiente, el sector de la comunidad que presenta mayor número de especies tintóreas es el casco de la comunidad y no el bosque, pero en el bosque existen especies que pueden aportar tonalidades que hasta el momento no se han empleado.

- 6.3 El número total de especies tintóreas encontradas en la comunidad de Pozo Seco es 35, las cuales están repartidas en 25 familias. De estas 25 familias 17 poseen una especie cada una y las otras 8 poseen de dos a tres especies

De las especies con potencial tintóreo encontradas en Pozo Seco, 62.9% (22) son de hábito arbóreo, 18.9% (7) son hierbas, 13.5% (5) son arbustivas y 2.7% (1) son enredadera, por consiguiente, el hábito que domina es el arbóreo.

- 6.4 Con base en la información obtenida de la Asociación de Mujeres y otras fuentes, se puede decir que la parte de la planta más utilizada para la obtención de tintes, es la corteza de los árboles, siendo los colores dominantes amarillos, cafés y beige. Esto implica que para poder usar de forma adecuada y sostenible estos recursos se debe buscar o estudiar métodos para descortezar que no provoquen la pérdida del árbol.
- 6.5 El valor ecológico de las especies con potencial tintóreo presentes en los huertos familiares es alto con respecto a las demás especies, ya que se usan para consumo humano. Las especies tintóreas presentes en los tres estratos de bosque poseen un valor ecológico bajo en comparación al resto de especies.

- 6.6 De las 35 especies con potencial tintóreo encontradas en la comunidad 31 están domesticadas o parcialmente domesticadas, las 4 restantes se reproducen naturalmente en el bosque o entre la vegetación presente en el casco de la comunidad.

VII RECOMENDACIONES

- 7.1 Implementar una metodología de extracción de corteza y látex que sea sostenible.
- 7.2 Capacitar a las personas de la comunidad en métodos adecuados para la propagación de estas especies que a parte de ser tintóreas, tienen otros usos que son y pueden ser aprovechados por la comunidad.
- 7.3 No fomentar el uso de especies preciosas o en peligro de extinción, como el Cedro y la Caoba, en la extracción de tintes.
- 7.4 Hacer pruebas de laboratorio para establecer cuáles son las mejores condiciones para la extracción de los tintes.
- 7.5 Hacer estudios sobre cómo mejorar la extracción y fijación artesanal de los tintes, utilizando las especies y los mordientes mencionados en esta investigación, u otros de origen natural; y en el caso de los mordientes analizar la conveniencia de utilizar mordientes naturales o químicos.
- 7.6 Si la comunidad desea entrar al mercado con productos teñidos naturalmente debe pensar en fortalecer la presencia de especies tintóreas tanto en los huertos familiares como en el bosque.
- 7.7 Hacer estudios económicos y de mercado para establecer los costos de producción, ver que éstos sean competitivos y ubicar los lugares, ya sea a nivel nacional o internacional, en donde estos productos puedan ser vendidos.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Bliss, A. 1980. North American Dye Plants. Rocky Mountain Dye Plants.
3. Cáceres, A. 1996. Plantas de uso medicinal en Guatemala. Guatemala, Editorial Universitaria.
4. Cannon, J. & M. Cannon. 1994. Dye Plants and Dyeing. The Royal Botanical Garden, Kew. Timber Press, Portland, Oregon.
6. Dogan, Y. et al. 2003. Plants Used as Natural Dy Sources in Turkey. The New Botanical Garden Press, Bronx, N.Y. *Economic Botany* 57(4) pp 442-453.
7. Forero, L.E., J.F. Chávez & H.Y Bernal. 2000. Agrotecnología para el cultivo de sangre de grado o sangregado. Compilación de artículos Fundamentos de Agrotecnología de Cultivo de Plantas Medicinales Iberoamericanas. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED. Primera edición. Editorial Alvaro Campo Cabal & Henry Yesid Bernal, Colombia.
8. Geilfus, Frans. 1994. El Arbol al servicio del agricultor. Volumen 2. Editorial ENDA-CARIBE/CATIE. Costa Rica.
9. Gillow, J. & B. Sentance. 1999. Tejidos del Mundo. Editorial Nerea. España.
10. Lock, O. 1997. Colorantes Naturales. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica de Perú. Perú.
11. Martin, G. J. 2000. Etnobotánica, Manual de métodos. Publicaciones People and Plants. Editorial Nordan-Comunidad. Uruguay
12. Martínez A. J.V. & A. Cáceres. 2000. Agrotecnología para el cultivo de pericón o hierba de San Juan. Compilación de artículos Fundamentos de Agrotecnología de Cultivo de Plantas Medicinales Iberoamericanas. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED. Primera edición. Editorial Alvaro Campo Cabal & Henry Yesid Bernal, Colombia.
19. O'Neale, L. M. 1980. Tejidos del Altiplano de Guatemala. 2da. Edición. Editorial José Pineda Ibarra. Guatemala.
20. Roquero, A. 1992. Materias tintóreas de Centro América: Conocimiento y uso entre los antiguos mayas. de la publicación: La indumentaria y el tejido mayas a través del tiempo. Ediciones del Museo Ixchel. Guatemala.
25. Stramigioli, C. 2000. Teñido con colorantes naturales. Recuperación de una técnica tradicional. Editorial Búsqueda de Ayllu y Editorial Galerna. Buenos Aires, Argentina.

26. Torres, R. 1983. Contribución al conocimiento de las plantas tintóreas registradas en Colombia. Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
27. UE (Unión Europea); Fundación Gabina J.M.; Ministerio de Economía. 1992. Manual de Tintes Naturales. Artesanías de Guatemala. pp 1-31.
29. Wells, K. 1998. Teñido y estampado de tejidos. Editorial Acanto S.A. Barcelona, España.

* Autora de la Tesis con la que obtuvo el título de Ingeniera Agrónoma.
 ** Asesores de la Tesis y coautores del artículo.

Revista  **tikal** se terminó de imprimir en el mes de noviembre del 2006, en los talleres de Editora Arizandieta, con una tirada de 500 ejemplares en papel bond beige de 80 gramos.



AUTORES:

*José Vicente Martínez Arévalo,
Erick Estrada,
Armando Cáceres,
Gustavo Álvarez
Sergio Enrique García Batz.*

Marco Morales de la Cruz.

*Sully M. Cruz V.,
Félix R. Véliz,
María del Carmen Samayoa,
Armando Cáceres,
Isabel Gaitán, Ruth Molina G.
Luis Álvarez.*

*Ramiro Arnoldo López Pineda,
Claudio Andrés Alister Herdener
Marcelo Kogan Alterman.*

*Grace Paola Arguijo M.,
Vicente Martínez
Constantino Reyes.*

EDICIÓN:

Dennis Escobar Galicia

DISEÑO:

Hernán Guerra



CONTENIDO

- 7 Detección de plantas utilizadas para el manejo y control de enfermedades fungosas en los principales cultivos alimenticios y evaluación preliminar de su actividad *in vitro*.**

José Vicente Martínez Arévalo, Erick Estrada, Armando Cáceres, Gustavo Álvarez y Sergio Enrique García Batz.

- 25 Pago por servicios ambientales: Análisis teórico de la iniciativa Fondo del Agua en Guatemala.**

Marco Morales de la Cruz.

- 51 Caracterización de aceites esenciales y evaluación de la actividad biocida de cinco especies nativas de *piperaceas*.**

Sully M. Cruz V., Félix R. Véliz, María del Carmen Samayoa, Armando Cáceres, Isabel Gaitán, Ruth Molina G. y Luis Álvarez.

- 69 El uso de surfactantes para aumentar la eficacia de herbicidas postemergentes.**

Ramiro Arnoldo López Pineda, Claudio Andrés Alister Herdener y Marcelo Kogan Alterman.

- 83 Documentación de la flora con potencial tintóreo de la comunidad Pozo Seco, municipio de Chisec, Alta Verapaz.**

Grace Paola Arguijo M., Vicente Martínez y Constantino Reyes.