



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

Vol. XXII, No. 2



**Guatemala
2004**

**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. Erberto Raúl Alfaro
Vocal III: Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez
Vocal IV: MEPU: Juvencio Geovany González Ch.
Vocal V: MEPU: Bayron G. González Reyes

Comité Editorial

Ing. Agr. Juan Herrera Ardón
Ing. Agr. Darvín González
Periodista Dennis Escobar Galicia

Revista **Etikalia**
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

CONTENIDO

- 7 Calidad del agua en la microcuenca del río San Pedro, Huehuetenango.

Elías Raymundo, Tomás A. Padilla C., Aníbal O. Sacabajá G. y Pablo Prado C.

- 23 Determinación de principales áreas de recarga hídrica natural y de la calidad de agua en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz.

Juan C. Fuentes M., Eugenio O. Orozco O., Marvin R. Salguero B. y Tomás A. Padilla C.

- 43 Uso de un marcador molecular en la selección de plantas resistentes a nematodos formadores de nudos radiculares en un programa de mejora genética de tomate.

Carolina Rosales de Zea, Luis Mejía De León, Sergio Melgar Valladares y Domingo Amador Pérez

- 55 Elementos para el cultivo de calahuala *Phlebodium pseudoaureum* (CAV.) Lellinger, una especie medicinal.

José Vicente Martínez Arévalo

- 63 Estimación de la muestra mínima de agricultores para validar variedades mejoradas de frijol en el suroriente de Guatemala.

Mamerto Reyes Hernández

- 79 Mejorando el proceso de diseño de políticas y la administración de los recursos naturales en el cerro Tuncaj, Baja Verapaz, Guatemala.

Boris Méndez Paiz

PRESENTACIÓN

Revista TIKALIA (Volumen XXII, No. 2, 2004) contiene tres artículos de egresados del Programa de Maestría de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala; dos de la Maestría en Manejo Sostenible de Suelo y Agua y uno de la Maestría en Biotecnología de Plantas. Además tres artículos elaborados por profesores investigadores de esta unidad académica. El contenido de los escritos, en su orden, es el siguiente:

“Calidad del agua en la microcuenca del río San Pedro, Huehuetenango”, artículo en base a la tesis del mismo nombre con la que Elías Raymundo obtuvo el grado de Maestro en Ciencias. Es una propuesta de un plan de manejo del recurso agua para mantener o mejorar su calidad. El estudio se abordó desde dos líneas metodológicas: una orientada a la medición de la contaminación del agua, y otra línea adecuada para establecer la percepción y valoración de los líderes de las comunidades respecto a la contaminación del líquido.

“Determinación de principales áreas de recarga hídrica natural y de la calidad de agua en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz”, artículo elaborado por Juan C. Fuentes M. Nos indica que dicho río es de gran importancia para el consumo humano en los municipios de Granados, Cubulco y Pachalún; por lo que para evitar su deterioro y la contaminación del líquido es necesario solucionar los problemas siguientes: manejo inadecuado de las áreas de recarga hídrica natural, contaminación bacteriológica, proyección de déficit de agua, destrucción acelerada de los recursos naturales y poca participación comunitaria.

“Uso de un marcador molecular en la selección de plantas resistentes a nematodos formadores de nudos radiculares en un programa de mejora genética del tomate”, en base a la tesis del mismo nombre con la que Carolina Rosales de Zea obtuvo la Maestría en Ciencias. En este estudio, de acuerdo con los resultados obtenidos, puede afirmarse que es factible implemen-

tar el uso del marcador REX-1 para asistir regularmente la selección de plantas resistentes a nematodos, pero no se recomienda en el caso particular del programa de mejoramiento genético de la FAUSAC, ya que el mismo está basado en las líneas derivadas de FAVI9 y las líneas de la Universidad de Florida que pueden presentar falsos positivos y patrones de bandeo diferentes a los esperados.

“Elementos para el cultivo de Calahuala *Phlebodium Pseudoaureum* (Cav.) Lellinger, una especie medicinal”, de Manuel Vicente Martínez, experto en plantas medicinales. Nos revela que la calahuala es un helecho epifito que se desarrolla en Guatemala en bosques templados por arriba de los 1800 msnm y que se ha utilizado popularmente para tratar afecciones del reumatismo, pero que últimamente se ha demostrado que es un antioxidante y estimulador del sistema inmunológico, por lo que varias formas farmacéuticas lo están empleando en el tratamiento de psoriasis y vitiligo.

“Estimación de la muestra mínima de agricultores para validar variedades mejordaas de frijol en el suroriente de Guatemala”, artículo del Maestro en Economía Agrícola Mamerto Reyes Hernández. En este trabajo se concluye que para la validación de las variedades, el tamaño de muestra debe ser como mínimo de 30 agricultores, un tamaño que se encuentra justo en la frontera donde comienzan los tamaños de las muestras grandes.

“Mejorando el proceso de diseño de políticas y la administración de los recursos naturales en el cerro Tuncaj, Baja Verapaz, Guatemala”, artículo del Maestro en Ciencia del Bosque Boris Méndez Paiz. En éste se aborda un problema de política relacionado con el uso de recursos naturales: las fallas del esquema actual de manejo de los recursos forestales, implementados por el Servicio Forestal de Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, en el área conocida como Cerro Tuncaj, localizada en el altiplano central de Guatemala.

Los editores.

CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUEENCA DEL RÍO SAN PEDRO, HUEHUETENANGO¹

Elías Raymundo²

Tomás A. Padilla C.³

Aníbal O. Sacabajá G.⁴

Pablo Prado C.⁵



El presente estudio surgió de la necesidad de instituciones municipales y de desarrollo en cuanto a conocer la situación de la calidad del agua que les permita construir un plan de manejo de este recurso para mantener o mejorar su calidad. El estudio se abordó desde dos líneas metodológicas: una línea orientada a la medición de la contaminación del agua y otra línea orientada a establecer la percepción y valoración de los líderes de las comunidades respecto a la contaminación del agua. Dado los parámetros fisicoquímicos encontrados, se estableció que las principales fuentes de contaminación lo constituyen las aguas mieles del beneficiado de café, las aguas residuales y las letrinas de hoyo. En el aspecto de riego agrícola, en la época seca algunas fuentes de agua se clasifican como C2S1. A partir de estos resultados, el estudio sugiere que las instituciones interesadas deben centrar sus esfuerzos en dar manejo a las aguas mieles del beneficiado de café, a las aguas residuales y a las letrinas de hoyo. Asimismo, se debe poner cuidado en el tipo de riego a emplear al utilizarse las fuentes de agua clasificadas como C2S1. Se sugiere también que la utilización de la percepción, valoración y visión de los usuarios del agua es importante para identificar las fuentes de contaminación y para involucrar a las personas en la elaboración y ejecución de planes de manejo, por lo que futuros estudios deben tomar en cuenta esta metodología.

Palabras clave: Calidad del agua, contaminación, fuentes de contaminación, calidad para consumo humano, calidad para riego agrícola, calidad de aguas residuales vertidas al ambiente, microcuenca, San Pedro Necta, Huehuetenango.

INTRODUCCIÓN

La microcuenca del río San Pedro, con una extensión de 34.2 Km², está localizada en la cuenca del río Selegua (Figura 1), en el departamento de Huehuetenango, región VII de Guatemala. La unidad geológica principal de la microcuenca lo constituyen rocas sedimentarias de carbonato de calcio, depositadas en la zona en el período pérmico y pérmico-carbonífero, con lo cual se presenta un ambiente kárstico que no está muy desarrollado. La altitud sobre el nivel del mar de la microcuenca varía de 1,230 m en el punto de aforo hasta 2,752 m en la parte más alta de la divisoria de cuencas, por lo que acuíferos colgados son la principal expresión de las aguas subterráneas, a través de los cuales se abastecen más de 12,000 personas que habitan la microcuenca o sus cercanías.

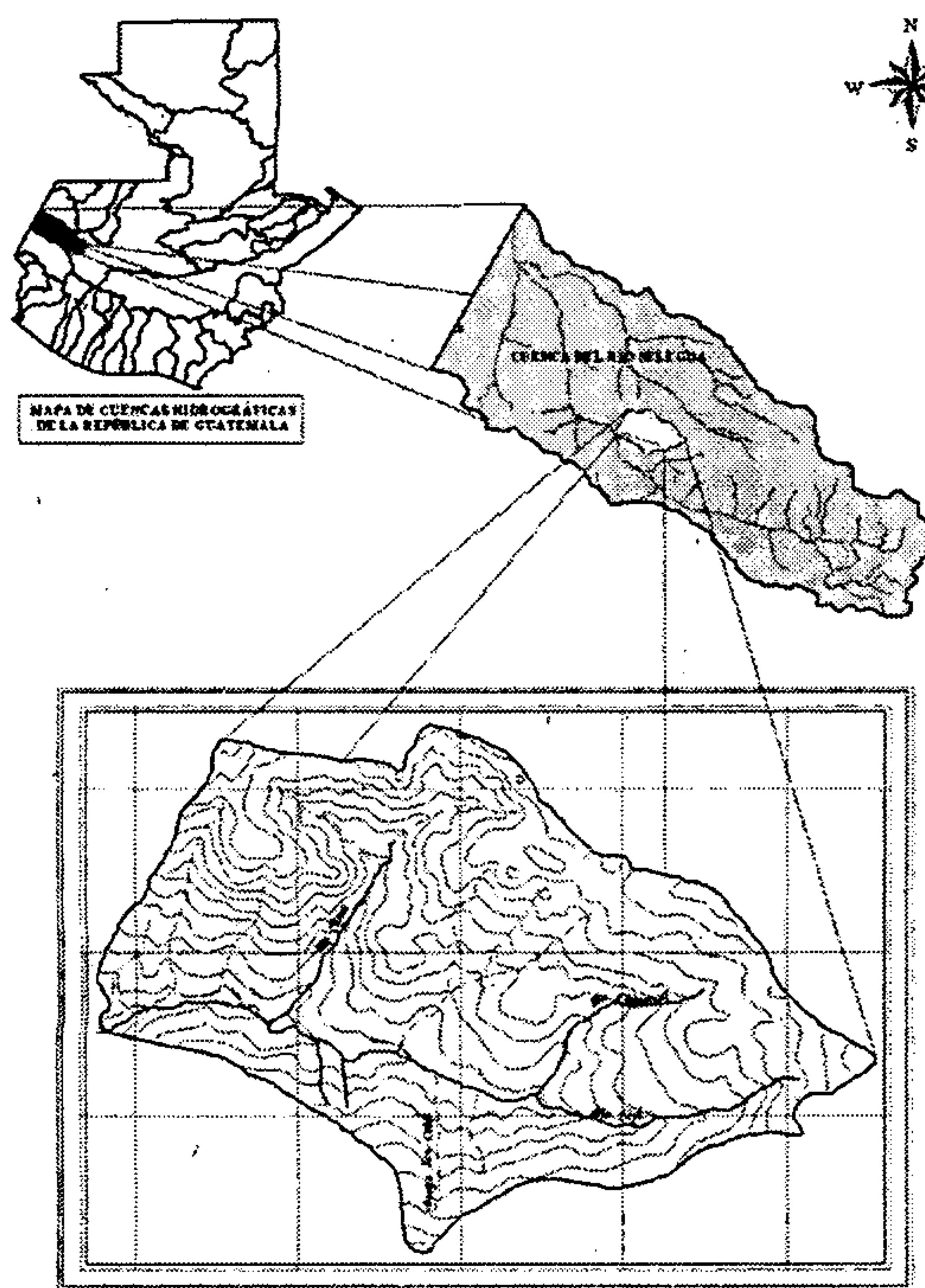


Figura 1. Mapa de ubicación de cuenca, de la microcuenca del río San Pedro (escala modificada).

Esta población que habita la microcuenca, la cual incluye a la cabecera municipal del municipio de San Pedro Necta que se ubica en las márgenes del río San Pedro, define una densidad poblacional de 349 habitantes/Km². Además, varias familias utilizan el agua para el riego de cultivos agrícolas y para el consumo de sus animales domésticos. Asimismo, dos familias de la microcuenca han establecido piscinas públicas para la recreación. Y por otro lado, existe un conflicto social por la propiedad y uso del agua no resuelto entre una comunidad del municipio de San Pedro Necta y la municipalidad de Santiago Chimaltenango.

Asimismo, el río San Pedro es un afluente del río Selegua, que constituye la corriente principal de la cuenca del río Selegua, la cual es una cuenca binacional compartida entre Guatemala y México, transitando el río Selegua de Guatemala hacia México.

Por esta situación, y a partir del interés de la Municipalidad de San Pedro Necta y de la Asociación para la promoción y el desarrollo de la comunidad –CEIBA- por impulsar un manejo racional y sostenido del recurso hídrico en la microcuenca, este estudio definió como objetivo evaluar la calidad del agua en la microcuenca para fines de consumo humano (comparándolo con los estándares de calidad de agua potable establecido por la comisión guatemalteca de normas y regulaciones) y para fines de riego agrícola (utilizando la metodología del departamento de agricultura de los Estados Unidos).

MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca fue seleccionada particularmente por su alta densidad poblacional, por la falta de manejo de las aguas residuales y los desechos sólidos humanos, la actividad de beneficiado de café con su vertido de aguas mieles directamente al suelo o a las corrientes de agua superficiales, y los antecedentes de uso de fertilizantes químicos y de pesticidas en la agricultura (CEIBA, 2001). El estudio se abordó desde dos líneas metodológicas: una línea se orientó a la medición de la contaminación del agua. Con base a su ubicación respecto a las fuentes de contaminación, trece sitios de fuentes de agua fueron seleccionados para colecta de muestras, tanto en la época seca y/o en la época lluviosa, con fines de análisis fisicoquímicos, de análisis de metales pesados, de análisis de plaguicidas organoclorados y organofosforados, y de análisis de coliformes fecales. Las muestras fueron tomadas siguiendo los procedimientos convencionales y fueron enviadas a laboratorios

para los análisis correspondientes. La otra línea metodológica se orientó a establecer la percepción, valoración y visión de los habitantes de la microcuenca respecto a la contaminación del agua. Para ello, entrevistas fueron realizadas a un número representativo de jefes de hogar y dos talleres de discusión, utilizando herramientas para el desarrollo participativo (Geilfus, 1999) fueron realizados con los líderes de los comités de agua.

Además, buscando explicar el comportamiento y la situación actual de la calidad del agua, en cada momento de muestreo se realizaron mediciones de caudal en todas las fuentes de agua, utilizando los métodos volumétrico o de sección velocidad (Herrera Ibáñez, 1995). Se realizaron también pruebas de infiltración para establecer la conductividad hidráulica de los suelos de acuerdo al método del agujero inverso (Ritzema, 1994) o método de Porchet (Custodio y Llamas 2001, Orozco *et al* 2004).

Para explicar el manejo actual del recurso hídrico en la microcuenca, se analizaron también los siguientes aspectos: a) los usos actuales del agua, b) la oferta-demanda actual y proyectada del agua (Gonzales, O.), c) la visión de la población respecto a la calidad del agua y medidas de manejo; d) se estableció el nivel educativo y de capacitación de la población respecto a temas afines al manejo del recurso hídrico, y e) se identificaron las actividades afines a un manejo adecuado de los recursos hídricos que están siendo realizadas por las comunidades y las instituciones presentes en la microcuenca, lo cual incluyó un análisis de la intensidad de uso de la tierra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto a fuentes de contaminación

En este estudio se estimó que las viviendas de la microcuenca utilizan al año un total de 84.0 Tm de jabón distribuidos en 59.8 Tm de jabón sólido y 24.2 Tm de jabón en polvo. Se estimó también que 750 viviendas de la cabecera municipal (95 %) canalizan sus aguas residuales directamente al río.

Dados los niveles de producción del cultivo de café en la microcuenca, con base en ANACAFÉ (1999), se estimó que 624 Tm de sólidos de café, derivados del fruto, se convierten en un contaminante directo durante el período diciembre-marzo. Con relación a las letrinas de hoyo, basado en Schiere (1989), se estimó un volumen anual de disposición de excretas en letrinas de hoyo de 1,134.6 Tm; 270.8 Tm al aire libre; y, un volumen anual de orina de 3,009.8 m³

Con relación a la generación de basura orgánica o inorgánica, la cual es colectada por el servicio del tren de aseo y relleno sanitario en las cabeceras municipales de San Pedro Necta y Santiago Chimaltenango, se estimó una producción anual de 48.4 Tm de basura en San Pedro Necta, de las cuales 24.2 Tm es basura orgánica y 24.2 Tm es basura inorgánica. En el caso de Santiago Chimaltenango, se tiene una producción anual de 209.6 m³, de los cuales 52.4 m³ es basura orgánica y 157.2 m³ es basura inorgánica.

Con relación a los animales domésticos existentes en la microcuenca, se estimó una producción de 680.6 Tm de estiércol animal al año.

De acuerdo con el análisis de uso de la tierra de la microcuenca del río San Pedro, 5.8 Km² de su superficie corresponden a cultivos anuales. Asimismo, 0.3 Km² en la microcuenca corresponden a tierras con agricultura regada y 0.03 Km² corresponden a tierras expuestas, que al no estar cubiertos de vegetación, son tierras fácilmente erosionables.

Por otra parte, el 44.9 % de las familias utilizan fertilizantes para mejorar el rendimiento de sus cultivos. A julio de 2004, se habían utilizado aproximadamente 114 Tm de fertilizantes, de los cuales 99.1 Tm eran fertilizantes químicos y 14.9 Tm eran abono orgánico. Asimismo, se habían utilizado 476 litros de abonos foliares, el 63.8 % de los cuales fue orgánico. Sin embargo, con base en información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2004) se estima que durante 2004 en la microcuenca ingresaron un total de 196.3 Tm de fertilizantes químicos, lo que para una superficie de 13.02 Km², que se distribuyen entre el uso del suelo para cultivo de café y el uso del suelo para cultivos anuales, hace una tasa de aplicación de fertilizante de 150.08 Kg/Ha.

Se identificó también que los pesticidas más utilizados son Gramoxone o Paraquat, Volaton y Tamaron, sin embargo, hasta julio de 2004 solo se utilizaron 16 litros de Gramoxone, 18.2 Kg de Volaton y 1 litro de Tamaron.

Otras fuentes de contaminación identificadas son el uso de vehículos motorizados que determinan la presencia de talleres mecánicos y gasolinera; el uso de pilas o baterías para electrodomésticos lo cual se estimó una cantidad de 11,238 pilas utilizadas al año; y el uso de desinfectantes clorados en las viviendas, las cuales utilizan un promedio de una botella de 300 ml cada semana (0.3 L/semana/familia), que equivale a un total de 3,541 L/año de cloro para desinfección.

Respecto a los niveles de contaminación

Con relación a los parámetros que la Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones (COGUANOR NGO 29-001) establece para agua de consumo humano (MINECO, 2000), lo cual incluye parámetros fisicoquímicos, metales pesados, pesticidas y bacterias coliformes fecales, se encontró que, tanto en la época seca como en la época lluviosa, las aguas se encuentran en los rangos permitidos en lo que se refiere a parámetros fisicoquímicos, metales pesados y pesticidas. Esto se atribuyó a que los niveles de la producción de contaminantes en la microcuenca son muy reducidos, de manera que no han sido suficientes para alterar la calidad del agua de consumo humano.

En cambio, con fines de consumo humano, la limitación encontrado se debe a la contaminación bacteriológica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coliformes fecales en muestras de 19 fuentes de agua de la microcuenca del río San Pedro.

No. Fuente de agua	Coliformes fecales/ 100 ml			
	Epoca seca 2003	Epoca lluvias 2003	Epoca seca 2004	Epoca lluvias 2004
1 Manantial Niyá SCh				0
2 Manantial Belencruz SCh				0
3 Manantial Niyá SPN		0		0
4 Manantial Nimá La Esperanza	0	0	0	0
5 Manantial Los Coles	0	Incontables	0	Incontables
6 Manantial Chinacual	0		0	45
7 Manantial Chalá 1, Chimiche				0
8 Manantial Chalá 2, Chimiche				60
9 Manantial Chalá 3, Chimiche				8
10 Manantial Particular 1		8	0	
11 Manantial Particular 2		8		
12 Manantial Particular 3		1 2		
13 Manantial Particular 4			0	0
14 Manantial Particular 5			68	Incontables
15 Manantial Particular 6			6	
16 Manantial 7				0
17 Río Chinacual			Incontables	Incontables
18 Río Niyá			Incontables	Incontables
19 Río Nimá			0	Incontables

Fuente: elaboración propia con base a datos de laboratorio de la Jefatura de Área de Salud, Huehuetenango.

Presencia de coliformes fecales fue detectada en las muestras obtenidas de ríos tanto en la época seca como en la época de lluvias, no así en las muestras obtenidas de los manantiales, donde solo en los manantiales sin cajas de protección, o con cajas de protección deteriorada, se encontró presencia de coliformes tanto en época seca como en época lluviosa, en tanto que en los manantiales con protección natural o con cajas de protección en buenas condiciones, no se encontró presencia de coliformes fecales en ninguna de las dos épocas.

Esta nula presencia o los niveles de un número relativamente bajo de coliformes fecales en manantiales, se explica hipotéticamente con relación a que los niveles de materia orgánica en los suelos (que es variable en la microcuenca pues en tres unidades mapeo se encontraron rangos de 0.6 a 2.8 %, en otras tres se encontraron rangos de 5.0 a 7.0 %, y en las tres últimas de 12.5 a 17 %) pueden estar teniendo efecto de retención de estos parámetros y facilitando procesos químicos o biológicos de limpieza, o bien que la conductividad hidráulica de los suelos y las fisuras que son característicos del material geológico, estén provocando que los contaminantes se incorporen a acuíferos más profundos cuyos flujos no tienen salida en la microcuenca, de manera que los acuíferos colgados, que están alimentando las corrientes superficiales en la microcuenca, muestran poca evidencia de contaminación respecto a este parámetro.

En cuanto a parámetros que reflejan contaminantes referidos a aguas residuales, las aguas del cauce principal de la microcuenca mostraron niveles de DQO y DBO_5 superiores a los niveles permitidos para las aguas de efluentes líquidos. Los demás parámetros analizados, tanto en las aguas de manantiales como de los ríos, tanto en la época seca como en la época de lluvias, mostraron estar entre los límites aceptados por la norma guatemalteca.

En cuanto al uso del agua con fines de riego, de acuerdo a la metodología del departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la calidad del agua encontrada en época seca, de trece fuentes de agua muestreadas, ocho se clasifican como C1S1 y cinco se clasifican como C2S1 (Ver Cuadro 2). Las aguas clasificadas C1S1 son principalmente de manantiales, en tanto que las aguas clasificadas como C2S1 son principalmente de los ríos. Sin embargo, muestreadas en julio de la época lluviosa, las trece fuentes se clasifican como C1S1.

Cuadro 2. Parámetros de calidad del agua para riego en 13 muestras de agua de la micro cuenca del río San Pedro, en abril de 2004 (donde no se especifica, las dimensionales se expresan en meq/L).

No.	Origen de la muestra	SE	SP	RAS (adim.)	CSR	PSP (%)	CE (ds/m)	Cl ⁻	Clasifi- cación
1	Río San Pedro antes de ingresar al río Selegua	0.21	0.05	0.135	0.39	81.0	324	0	C2S1
2	Río San Pedro antes de ingresar al Pueblo de SPN	0.91	0.07	0.105	-0.81	13.2	296	0	C2S1
3	Arroyo a la Pinada	0.40	0.04	0.269	0.82	65.0	239	0	C1S1
4	Arroyo detrás de la biblioteca	0.55	0.00	0.127	-0.43	21.7	221	0	C1S1
5	Río Nimá, abajo de carretera a Guachipilín	0.23	0.06	0.150	1.03	78.3	351	0	C2S1
6	Manantial terreno de Marcos Bravo	0.13	0.04	0.113	0.61	92.3	266	0	C2S1
7	Río Niyá antes de unirse a Río Chinacual	0.07	0.04	0.061	0.39	85.7	208	0	C1S1
8	Río Chinacual antes de unirse a río Niyá	0.17	0.26	0.118	0.21	94.1	390	0	C2S1
9	Manantial Xémal El Aguacate	0.08	0.00	0.033	0.47	87.5	195	0	C1S1
10	Manantial Niyá SPN, proyecto de agua arriba Escuela	0.03	0.00	0.088	0.62	93.7	149	0	C1S1
11	Manantial Chinacual	0.03	0.04	0.031	0.39	85.7	215	0	C1S1
12	Manantial Nimá La Esperanza	0.03	0.03	0.031	0.13	85.7	226	0	C1S1
13	Manantial Balencruz	0.05	0.02	0.017	-0.02	40.7	247	0	C1S1

Fuente: elaboración propia con base a metodología USDA y datos de laboratorio.

En cuanto a la química del agua, referidos principalmente a los parámetros de dureza, alcalinidad, pH, Ca^{2+} , CO_3^{-2} y HCO_3^- , los mismos se explican por el material geológico de la microcuenca definido como karst y constituido de roca caliza en distintos grados de meteorización. Las aguas se clasifican principalmente como HCO_3^- - Ca^{2+} o CO_3^{-2} - Ca^{2+} y en algunos casos con presencia de Magnesio.

Respecto al manejo del agua en la microcuenca del río San Pedro

Los usos del agua: Con fines de consumo humano, 29 proyectos existen en la microcuenca. Veintiséis de estos proyectos son utilizados dentro de la microcuenca y tres son utilizados fuera de la microcuenca. El total de agua suministrado en estos proyectos asciende a 81.44 L/s, equivalentes a 0.0814 m³/s. Con fines de riego agrícola, existen varios proyectos que movilizan un caudal de 32.5 L/s, lo que abastece a 117 familias. Con fines de recreación, dos proyectos existen en la microcuenca, los cuales movilizan 183.3 m³, renovados cada 18 días en promedio, con lo cual se tiene un volumen total anual de uso de agua para recreación de 3,345.2 m³. Como fuente de pesca o para cultivo de peces, solamente se encontró un pequeño proyecto incipiente con 300 peces y un espejo de agua de 2 m².

Otros usos del agua tienen que ver con las actividades domésticas como lavado de ropa, aseo personal, lavado de vehículos y lavado de las calles; el uso del agua en el beneficiado del café; el uso del agua para la descarga de basura; y el uso del agua para la descarga de aguas jabonosas y aguas residuales. Según Cobos, C. (2001), en Guatemala es una práctica común usar cuerpos de agua (ríos, lagos) para la disposición de desechos sólidos y líquidos. Este uso del recurso es uno de los más nocivos, no sólo desde el punto de vista ecológico, sino porque contamina el agua causando su reducción de disponibilidad futura.

Respecto a la situación actual y proyectada de la oferta-demanda del agua de consumo humano: De 29 proyectos existentes en la microcuenca, se encontró que 8 proyectos muestran déficit para la satisfacción de la demanda actual, sin embargo, en el balance total del caudal existente en la microcuenca en los proyectos señalados, hay un excedente que rebasa en 209 % la demanda actual, de manera que el déficit que muestran algunos proyectos refleja una inadecuada distribución del recurso.

Un análisis de la demanda proyectada a 25 años sobre estos mismos 29 proyectos, mostró que en ese plazo 18 proyectos tendrán déficit y no podrán satisfacer la demanda de agua en ese año. Sin embargo, en el balance total se tendrá un excedente equivalente al 44.4 % del volumen de demanda en ese año.

Respecto a la visión de la población: El Cuadro 3 muestra la capacidad que tienen los líderes de los comités de agua de la microcuenca para

identificar las fuentes de contaminación que existen en sus comunidades y puede verse la priorización que establecen basados en criterios concretos.

Cuadro 3. Priorización de las fuentes de contaminación de acuerdo a criterios de líderes de comités de agua de la microcuenca del río San Pedro.

Fuente de contaminación	Priorización (votos)	Criterios de la priorización
Aguas jabonosas	6	Cantidad de personas que produce la fuente de contaminación; Tiempo del año que permanece la fuente de contaminación; Peligrosidad de la fuente de contaminación Tipo de fuentes de agua que son afectadas. 1 Manantial 2 Pozo 3 Río
Aguas mieles del beneficiado de café	5	
Aguas sucias (negras)	5	
Basura orgánica (animales muertos, desechos animales, restos de verduras, frutas, etc.)	4	
Aplicación de pesticidas	3	
Letrinas de hoyo	3	
Aplicación de abonos químicos	2	
Basura inorgánica (plástico, nylon, vidrios, latas, etc.)	0	

Como posibles soluciones a la presencia de las fuentes de contaminación, las sugerencias de los líderes se refieren principalmente al saneamiento del agua: a) tener aseado los tanques para que no tengan contaminación, b) no permitir suciedad como: desagües, fumigar insecticidas, ganado, bestias, cabras, marranos y viviendas con desemboques cerca del tanque del agua, c) sin curar el agua, no se debe tomar el agua del río, d) se debe reforestar, sembrar árboles, controlar y dar mantenimiento del agua, y e) se debe evitar tirar el agua del beneficio de café en los ríos.

Con respecto a la educación y capacitaciones afines a los recursos hídricos: El Cuadro 4 muestra que el 50 % de la población de la microcuenca no sabe leer ni escribe y solamente un 9.5 % ha realizado estudios después de la primaria.

Cuadro 4. Nivel de escolaridad en 2004, en la microcuenca del río San Pedro.

Nivel de escolaridad	Número de personas entrevistadas	% de personas entrevistadas
No sabe leer ni escribir	300	50.0
1-3er año primaria	141	23.5
4- 6to año primaria	102	17.0
Básico	24	4.0
Diversificado	28	4.7
Universitario	5	0.8
Total	600	100.0

Fuente: encuesta realizada en la microcuenca en el segundo semestre de 2004.

El Cuadro 5 muestra que el 94.3 % de la población de la microcuenca no han recibido ningún tipo de capacitación en temas afines al manejo de los recursos hídricos.

Cuadro 5. Temas en que se han capacitado las personas de la microcuenca del río San Pedro.

Temas en los que se ha recibido capacitación	Número de personas entrevistadas	% de personas entrevistadas
Reforestación y manejo forestal	7	1.2
Letrinas aboneras	4	0.7
Manejo de la basura	5	0.8
Medio ambiente	4	0.7
Salud ambiental	8	1.3
Manejo del agua	6	1.0
Ninguno	566	94.3
Total	600	100.0

Fuente: encuesta realizada en la microcuenca en el segundo semestre de 2004.

Respecto a las actividades comunitarias o institucionales: El Cuadro 6 muestra que el 38.7 % de las tierras de la microcuenca están siendo sobreutilizados. Ello significa que el mayor porcentaje, 61.3 % corresponde a un uso adecuado o a un subuso con lo cual se entiende que las tierras de la microcuenca no están siendo presionadas ni sometidas a procesos fuertes de erosión o degradación.

Cuadro 6. Intensidad de uso de la tierra en la microcuenca del río San Pedro.

Intensidad de uso	Superficie Km2	%
Sobre uso	13.2	38.7
Uso adecuado	4.0	11.7
Subuso	17.0	49.6
Total	34.2	100.0

Fuente: elaboración propia con base en CEIBA (2001).

Por otra parte, de acuerdo a la encuesta realizada en esta investigación, se determinó que en 2003 las familias de la microcuenca plantaron un total de 9,270 árboles. Entre los fines señalados para la siembra de árboles, el 6.7 % de los entrevistados afirmaron haber hecho esta actividad para proteger los manantiales, el 2.8 % lo hizo para proteger los ríos y el 90.5 % lo hizo para diversos usos (sombra de café, tener madera y tener leña). De acuerdo con Ramírez (2004), el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales promovió la siembra de 2,332 árboles.

CONCLUSIONES

- Desde los parámetros físico químicos, de metales pesados y de pesticidas organoclorados y organofosforados, no se encontró evidencia de contaminación en las trece fuentes de agua muestreadas que limiten su uso con fines de consumo humano. Con fines de consumo humano, la mayor limitación encontrada se debe a la contaminación bacteriológica.
- De las fuentes de contaminación detectadas en las entrevistas y priorizadas por los líderes de la microcuenca, el vertido de aguas mieles del despulpado de café está impactando en la calidad fisicoquímica del recurso hídrico en el cauce principal, evidenciado por los altos niveles de DQO en el mes de marzo, los cuales rebasan los niveles permitidos para aguas residuales en la época en que este contaminante está presente.
- Asimismo, las aguas residuales y la deposición de excretas humanas mediante letrinas de hoyo están influyendo en la contaminación bacteriológica de ríos y manantiales muestreados, aunque a nivel de manantiales los niveles de contaminación son reducidos y su principal efecto se da en la época lluviosa.

- d. Con fines de riego, en el mes de abril de la época seca, las aguas de los ríos muestreados se clasifican como C2S1, no ocurre lo mismo con la mayoría de manantiales muestreados que se clasifican como C1S1. La mayor limitación de las aguas clasificadas como C2S1 es porque son bicarbonatadas y presentan un pH arriba de 7.5.
- e. Desde el punto de vista bacteriológico, siguiendo la recomendación del USDA (< 1000 coliformes fecales/100 ml), el agua de todos los manantiales analizados son aptas para riego de cultivos agrícolas que se consumen normalmente en crudo.
- f. Con relación al manejo del agua, pareciera ser que ni los niveles educativos ni la densidad poblacional ni la pobreza general en la microcuenca son factores determinantes de un mal manejo de los recursos hídricos. Esto se infiere debido a la intensidad de uso de la tierra que, en su mayor parte, está generando poca presión sobre los recursos naturales, pues el 61.3 % de las tierras están subutilizadas o utilizadas adecuadamente. Los factores principales que reflejan un manejo poco adecuado está reflejado en el hecho de que, pese a una abundancia del recurso que se mantendrá durante 25 años, para una tasa de crecimiento poblacional de 3.1 %, existen varias familias que no tienen abastecimiento de agua.
- g. La población presenta una visión e interpretación bastante acertada de la situación de contaminación del recurso hídrico y de sus fuentes de contaminación. Del grupo de fuentes de contaminación que priorizaron, el vertido de aguas mieles del beneficiado del café, las aguas residuales de las viviendas y cabecera municipal y las letrinas de hoyo, concuerdan con las fuentes de contaminación establecidas a partir de los niveles de contaminación encontrados en este estudio.
- h. La presión sobre el recurso agua en el futuro se dará en función del crecimiento poblacional. Eso significa que las fuentes de contaminación que incrementarán su potencial serán las aguas residuales y las letrinas de hoyo. Se considera que el vertido de aguas mieles del beneficio de café no será una fuente de contaminación que crecerá en el futuro, pues la mayor parte de la superficie potencial para este cultivo está en producción, como también por la crisis que los productores de este cultivo viven dado la reducción del precio en el mercado.

RECOMENDACIONES

- a. Los resultados de este estudio con relación a las fuentes de contaminación y a los niveles de contaminación del recurso hídrico de la microcuenca, deben ser tomados como la línea de base de la calidad del agua de la microcuenca y a partir de la misma realizar un plan de monitoreo de la calidad del agua, con una periodicidad de tres años, que permita establecer la evolución de las fuentes de contaminación y la evolución de la calidad del agua.
- b. En virtud de que el cultivo del café, con su proceso de agroindustria, es la actividad económica más importante de la microcuenca, y a partir de que los vertidos de aguas mieles alteran significativamente la calidad del agua del cauce principal, se recomienda realizar un estudio específico sobre el impacto del vertido de aguas mieles del beneficiado en el cauce principal, tomando de período para el estudio los meses en que se realiza esta actividad, que va de finales de diciembre a mediados de marzo. Una comparación puede hacerse si se toma de referencia las primeras semanas de diciembre y el mes de abril.
- c. Puesto que es alta la densidad poblacional de la zona y es alto el uso de letrinas de hoyo o pozo ciego, y dada la naturaleza karstica de la geología de la microcuenca, es recomendable hacer estudios específicos que permitan evaluar el impacto de la infiltración y percolación de los contaminantes originadas en las letrinas hacia las aguas subterráneas.
- d. Desde las condiciones topográficas existentes en la microcuenca, y pese a que algunas fuentes de agua se clasifican como C2S1, para fines de riego es recomendable utilizar sistemas de riego a presión. Específicamente, se considera más adecuado el riego por goteo debido a su nula capacidad de provocar erosión. De ser utilizadas las fuentes de agua clasificadas como C2S1, se recomienda la utilización de métodos químicos, como aplicación de ácidos (HNO_3 , HSO_4 y HCL), para evitar el taponamiento de las tuberías que provoca la presencia bicarbonatos. Para el uso de estos métodos químicos es necesario una capacitación especial, pues su uso puede resultar peligroso para el usuario que no lo realice adecuadamente.

- e. Es necesario involucrar la participación de los líderes comunitarios en la socialización de la información generada en este estudio y para iniciar un proceso de planificación y manejo racional y sostenido del recurso hídrico, desde su propia percepción, valoración y visión respecto al agua en su desarrollo y su futuro.
- f. Para que estos lineamientos puedan impulsarse, es necesario que la Municipalidad de San Pedro Necta los tome en cuenta y conforme una alianza con los diferentes sectores organizados de la microcuenca (comités comunitarios, organismos no gubernamentales y organismos gubernamentales correspondientes) para que las mismas se vayan concretando.

AGRADECIMIENTOS

Al programa Red Centroamericana de Recursos Hídricos –CARA- por su apoyo financiero en la realización de los estudios de maestría y el desarrollo de esta investigación.

A la Asociación para la promoción y el desarrollo de la comunidad –CEIBA-, por apoyar financieramente, con infraestructura y logística, la fase de campo del trabajo de investigación.

Al apoyo incondicional y concreto proporcionado por el Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque en el trabajo de campo.

A la esmerada dedicación de la Inga. Inf. Lyz Melina Colocho en la elaboración de los mapas temáticos.

De manera especial, el autor manifiesta su agradecimiento a las siguientes personas: delegado del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Maestro de Educación Rural Esdras Nehemías Ramírez; al Técnico de la Sección de Saneamiento Ambiental del Hospital Nacional de San Pedro Necta, Sr. Oscar Martínez; y, al Sr. Carlos Nolasco Mejía. Tres personas que desde su situación institucional y personal, apoyaron y facilitaron la consecución de la información plasmada en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGISA (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, GT). 1997. Programa de seguimiento a la propuesta de normas de aguas residuales para Guatemala. Guatemala. 41 p.
2. ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, GT). 1998. Manual de caficultura. 3 ed. Guatemala. 318 p.
3. 1999. Manual de beneficiado húmedo del café. Guatemala. 240 p.
4. CEIBA (Asociación para la Promoción y el Desarrollo de la Comunidad, GT). 2001. Estudio biofísico de San Pedro Necta. Guatemala. 116 p.
5. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología Subterránea. 2 ed. España, Barcelona, Omega v. 1. 1157 p.
6. Eaton, AD; Clesceri, LS; Greenberg, AE. 1998. Standar methods for the examination of water and wastewater. Washington, APHA (American Public Health Association) / AWWAA (American Water Works Asociation) / WEF (Water Environmental Federation, US). Cap. 10, 157 p.
7. Geilfus, F. 1997. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. El Salvador, San Salvador, IICA/GTZ. 208 p.
8. González, O. 2004. Notas del curso: manejo y planificación de los recursos hídricos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Programa de Postgrado, Maestría en Ciencias de Manejo Sostenible del Suelo y Agua. s.p.
9. Herrera Ibáñez, I. 1995. Manual de Hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
10. Martínez, O. 2004. Informe técnico de viviendas, agua potable y letrización en las comunidades del municipio de San Pedro Necta. Guatemala, Huehutenango, San Pedro Necta. s.p. (Comunicación Personal)
11. MINECO (Ministerio de Economía, GT); COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones, GT). 2000. Norma NGO 29 001 agua potable. Guatemala. 14 p.
12. Orozco, E; Padilla, T; Salguero, M. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Instituto Nacional de Bosques. 106 p.
13. Ramírez, E. 2004. Plan de reforestación y protección de manantiales de la oficina del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales en el municipio de San Pedro Necta. Guatemala, Huehuetenango, San Pedro Necta. s.p. (Comunicación personal)
14. Ritzema, HP. 1994. Drainage principles and aplicaciones. Trad. Hedí Alejandro Vane-gas Chacón. Wageningen, The Netherlands, ILRI. p. 87-172.
15. Schiere, J. 1989. LASF una letrina para la familia. Guatemala, Sacatepéquez, Santa María Cauqué, Comité Central Menonita. 64 p. (Edición Semilla).

1. Este trabajo constituyó la tesis del autor principal para obtener el grado de Maestro en Ciencias. La tesis fue publicada bajo el título de *"Fuentes y niveles de contaminación del recurso hídrico de la microcuenca del río San Pedro, cuenca del río Selegua, Huehuetenango"*, en marzo de 2005.
2. Autor principal, con una experiencia profesional principalmente en el desarrollo rural.
3. Asesor principal del trabajo de tesis. Está a cargo del programa Red Centroamericana de los Recursos Hídricos -CARA- y es profesor titular del programa de Postgrado de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
4. Asesor adjunto del trabajo de tesis. Está a cargo del laboratorio de suelo y agua, y es profesor titular de la subárea de suelos y del programa de Postgrado de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
5. Asesor adjunto del trabajo de tesis. Ha sido profesor titular de la subárea de Filosofía y Ciencias Sociales de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Actualmente realiza estudios de doctorado.

DETERMINACIÓN DE PRINCIPALES ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL Y DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO COTÓN, BAJA VERAPAZ

Juan C. Fuentes M.¹

Eugenio O. Orozco O.²

Marvin R. Salguero B.³

Tomás A. Padilla C.⁴



RESUMEN

En el área de influencia de la microcuenca del río Coton, de gran importancia para comunidades de municipios de Granados, Cubulco y Pachalum, en el abastecimiento de agua para consumo humano y riego, han existido conflictos debido al agotamiento de las fuentes de agua por el manejo de las áreas de recarga hídrica natural. Determinar las áreas de recarga hídrica, así como los volúmenes y la calidad del agua, es fundamental para establecer lineamientos de manejo que permitan la sostenibilidad y el uso racional del recurso. La recarga hídrica se determinó mediante un balance hídrico de suelos, utilizando la metodología de Schoinsky y Losilla, y se muestrearon las principales fuentes en época de estiaje determinando su aptitud para consumo humano y riego. La recarga hídrica natural se estima en $4.76 \times 10^6 \text{ m}^3$, lo que equivale al 11% de la precipitación pluvial, existiendo problemas de contaminación bacteriológica en el agua. Los principales problemas detectados en la microcuenca son: manejo inadecuado a las áreas de recarga hídrica natural, contaminación bacteriológica, proyección de déficit de agua, destrucción acelerada de los recursos naturales y poca participación comunitaria.

Palabras clave: infiltración efectiva, recarga hídrica, balance hídrico, profundidad efectiva, evapotranspiración, calidad del agua, metamorfismo, contaminación bacteriológica, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

El área de influencia de la microcuenca del río Cotón, el cerro Tuncáj, ocupa una extensión de 81 km², el cual es considerado de gran importancia, por ser una zona de captación y recarga hídrica que abastece de agua a los pobladores de los municipios de Rabinal, El Chol, Cubulco, Granados y Panchalúm, ha tenido un manejo inadecuado de las áreas boscosas. Este manejo ha provocado la degradación y erosión de los suelos, así como una disminución de la cantidad de agua, repercutiendo además en la biodiversidad, dado a que los recursos agua, suelo y bosque están interrelacionados.

Ávalos (2003), menciona que en años anteriores se tuvieron problemas en el área, lo cual fue debido al manejo forestal, ya que personas de las comunidades de la parte baja no estaban de acuerdo con las licencias forestales vigentes, porque sus fuentes de agua estaban siendo afectadas y sus caudales se estaban reduciendo significativamente, situación que fue la causa de que se generaran conflictos, el problema se agudizó cuando se autorizaron talas rasas en terrenos con fuertes pendientes.

Dada la problemática planteada anteriormente, delimitar las áreas de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Cotón es fundamental para conocer los volúmenes de agua que se recargan por efecto de la lluvia y en que áreas se presenta en mayor medida, así como la calidad y la disponibilidad en la época de estiaje, ya que actualmente se desconoce. En el plan de acción para la gestión integrada de los recursos hídricos del istmo centroamericano, se menciona que no solamente es necesario conocer la cantidad de agua que recarga naturalmente el acuífero, sino la calidad de la misma para cada uso específico. Además López Choc (1998), realza la importancia de realizar estudios de disponibilidad de agua en acuíferos. En este caso el estudio se desarrolló en la microcuenca del río Cotón, situada en jurisdicción de los municipios de Granados y Cubulco, pertenece a la subcuenca del río El Tumbadero, el cual es tributario de la cuenca del río Motagua, en la vertiente del Océano Atlántico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La microcuenca en estudio ocupa una extensión de 28.47 km² y se localiza en las coordenadas geográficas: 14° 54' 49'' y 15° 00' 26'' de latitud Norte; 90° 38' 24'' y 90° 35' 3'' de longitud Oeste. La altura oscila entre los 1,100 y 2,400 msnm. De acuerdo con Aparicio (2001), la microcuenca se clasifica como exorreica. El acceso a la microcuenca es por la carretera de

terracería que comunica las cabeceras municipales de Pachalúm (Quiché) y Cubulco (Baja Verapaz), la cual es transitable en su mayoría durante todo el año. Desde la cabecera municipal de Pachalúm, se puede acceder sobre el km 78 y 82 de esta ruta, para ingresar a la parte media y alta, por las comunidades de Ojo de Agua y Tuncáj respectivamente, estos caminos pertenecen a la red vial interna de la microcuenca, la cual en su mayoría es transitable solamente en la época seca.

El río Cotón, es una corriente relativamente pequeña de orden 3, con un caudal en la época de estiaje en el punto de aforo de aproximadamente 9,043 m³/día. La mayoría de sus corrientes tributarias son permanentes, a excepción de la corriente Ojo de Agua 2, manantial 1 y las corrientes 1, 2 y 3 de Rancho Viejo, que son efímeras.

En la microcuenca del río Cotón existe un ambiente metamórfico, indicando Machorro (2000), que las rocas metamórficas tienen porosidades menores de 3% y frecuentemente de 1%, los escasos poros que están presentes son pequeños y generalmente no están interconectados, debido a esto las permeabilidades son tan pequeñas que en casi todas las situaciones prácticas puede considerarse cero.

MATERIALES: molinete, gps, barreno, cronómetro, cinta métrica, brújula, clinómetro, nivel, recipientes, hieleras, fotografías aéreas, hojas cartográficas, mapa geológico, mapa de suelos.

MÉTODOS

Fase preliminar

Esta fase consistió básicamente en las siguientes actividades:

- Adquisición los mapas topográficos Granados (2060 I) y Cubulco (2061 II) a escala 1:50,000.
- Adquisición de 4 fotografías aéreas a escala 1:30,000, tomadas en el año 2,003, para la realización del mapa de uso actual de la microcuenca, habiéndose obtenido un total de 5 categorías, (posteriormente con la verificación de campo se establecieron 9 categorías).
- Adquisición del mapa geológico del cuadrángulo de Granados a escala 1:50,000, para la realización del mapa geológico de la microcuenca, delimitándose 6 unidades geológicas.
- Consulta de mapas temáticos de la república de Guatemala, siendo: series de suelos, cuencas, zonas de vida, clima, uso potencial, estaciones meteorológicas, principalmente.
- Obtención de información climática, de estaciones dentro y fuera de la microcuenca. Debido a la escasez de información, únicamente se tabula-

ron datos medios mensuales de temperatura (máxima y mínima) y precipitación pluvial.

- Elaboración de los mapas de ubicación, centros poblados y vías de acceso, hidrografía, orografía, suelos, geología, uso actual y unidades de mapeo, para lo cual se utilizó el software ArcView GIS versión 3.2.
- Para la delimitación de las unidades de mapeo, se sobrepusieron los mapas temáticos de suelos, geología y uso actual (según fotointerpretación), y se obtuvo un total de 22 unidades de mapeo (posteriormente con el caminamiento de campo para la verificación del uso el total de unidades se elevó a 28), con el objetivo de obtener áreas lo más homogéneas posible.

FASE DE CAMPO

Consistió en la obtención de la siguiente información:

Hidrología de superficie

- Ubicación y georeferenciación de los manantiales captados y no.
- Realización de aforos de los manantiales en época seca (Marzo) y lluviosa (Agosto), para determinar el potencial hídrico de la microcuenca.
- Realización de aforos diferenciales (en época seca) en las partes baja, media y alta de la microcuenca, para determinar si las corrientes son influentes o efluentes.
- Determinación de la velocidad de infiltración básica del suelo por cada unidad de mapeo, utilizando el método de Porchet.
- Toma de muestras de suelos en los lugares donde se efectuaron las pruebas de infiltración, para su posterior análisis en el laboratorio de Suelo-Agua-Planta de la FAUSAC, determinando textura, materia orgánica, densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchites permanente.
- Determinación de la pendiente promedio de cada unidad de mapeo.

Calidad del agua

- Toma de muestras de agua en la época seca, en 17 fuentes de la microcuenca del río Cotón, incluyendo manantiales y cauce natural. Para su posterior análisis en el laboratorio, determinando su calidad microbiológica y fisicoquímica para consumo humano y/o riego.

FASE DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

- Análisis de los datos de precipitación y temperatura, trazando las isoyetas e isopletras para cada mes del año, con la finalidad de asig-

narle un valor medio mensual de precipitación y evapotranspiración potencial a cada unidad de mapeo, para la realización del balance hídrico.

- Cálculo e interpretación de aforos de manantiales y aforos diferenciales.
- Calculando del balance hídrico de suelos, realizado para cada unidad de mapeo, según las condiciones de precipitación, evapotranspiración potencial, grados de humedad, densidad aparente, cobertura, pendiente y profundidad radicular.
- Clasificación de áreas de recarga hídrica natural utilizando el criterio de la ubicación de manantiales y la metodología de Herrera (2004).
- Determinación de las áreas críticas de recarga hídrica natural utilizando la metodología de Cook (2000), modificada por Orozco *et al.* (2003).
- Análisis de los resultados de calidad del agua, para determinar su aptitud, para consumo humano y/o riego. Para consumo humano los resultados se compararon con la norma COGUANOR 29001 y para riego se utilizaron las metodologías del laboratorio de salinidad del departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la de FAO.
- Realización de diagramas de Piper para la clasificación fisicoquímica de las aguas.
- Estimación de la demanda actual y futura de agua para consumo humano de la microcuenca.
- Análisis de la situación de los recursos naturales.
- Realización de un análisis FODA, con el objetivo de determinar las problemática existente, principalmente sobre el recurso hídrico.

ELABORACIÓN FINAL DEL INFORME

- La información obtenida se ordenó y analizó según la metodología que se propuso.
- Se procedió a un análisis de los resultados con el objetivo de establecer conclusiones finales de la investigación de acuerdo a los objetivos, además se plantearon las recomendaciones del caso.
- Se elaboró el documento final, incluyendo: aspectos generales de la microcuenca, balance hídrico de suelos, delimitación de áreas críticas de recarga hídrica natural, calidad del agua y lineamientos de manejo.
- Se consideraron aspectos generales de manejo en la microcuenca relacionado con el manejo de los recursos naturales, especialmente el recurso hídrico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ciclo hidrológico

PRECIPITACIÓN: La precipitación anual, de las estaciones Tuncáj y Medio Monte es de 1,716 y 1,392 mm anuales respectivamente. Obviamente, existiendo mayor precipitación en Tuncáj, debido al comportamiento orográfico de la misma.

EVAPOTRANSPIRACIÓN: La evapotranspiración anual en las estaciones de Tuncáj y Medio Monte es de 1,321 y 1,536 mm respectivamente, siendo mayor en Medio Monte, debido principalmente a las condiciones climáticas. De acuerdo con Cabrera (1997), la evapotranspiración potencial varía entre 1 a 3 mm/día en climas templados y de 5 a 8 mm/día en trópicos húmedos, por lo que el método sobreestima ligeramente la evapotranspiración potencial, ya que en la estación Tuncáj los valores oscilan entre 2.61 y 4.3 mm/día, en donde el clima prevaleciente es templado. En el caso de la estación Medio Monte los valores oscilan entre 3.3 y 4.98 mm/día, considerándose aceptables, ya que el clima en esta localidad es templado-cálido.

ESCORRENTÍA SUPERFICIAL: En total, existe una descarga de 6,755 m³/día en la época de estiaje en los manantiales no captados. El manantial de Joya Oscura ubicado en la parte baja de la microcuenca es el más productivo, aportando un 57.23 % del potencial total.

La mayoría de manantiales se ubican en la parte alta de la microcuenca, siendo los más productivos el manantial Tuncáj 1, Manzanote 3 y Plan de Manzo 3, por lo mismo, ambos abastecen los proyectos de riego por aspersión-gravedad de los caseríos Tuncáj-San José El Rodeo, Sector 2 Manzanote y Asociación Alí Ajuu respectivamente, realizando el aforo en las presas de derivación. En el resto de manantiales, el caudal oscila entre 10 y 17 m³/día.

La descarga total de todos los manantiales en la época de estiaje es de 8,993 m³/día muy ligeramente inferior al caudal que se determinó en el punto de aforo, que fue de 9,043 m³/día.

En términos generales el caudal en la mayoría de manantiales no captados aumenta más del 100% en la época de lluvias, existiendo una respuesta inmediata a la precipitación. En el caso de los manantiales Joya Oscura, Manantial 1 y Ojo de Agua 1, los aumentos son leves, siendo de 24, 13 y 17% respectivamente, debido a que están localizados

en áreas donde los suelos son *poco permeables*, no existiendo recarga hídrica natural.

En el caso de los manantiales captados el caudal aumenta aproximadamente entre 18 y 50%, presentando un aumento significativamente mayor los manantiales que abastecen el proyecto Tuncáj, siendo de 221 y 249% respectivamente.

En el punto de aforo del cauce principal, el caudal fue de 34,400 m³/día, aumentando el 280%, obviamente presenta el mayor aumento. Es importante mencionar, que el caudal en el punto de aforo aumenta significativamente, durante un evento de lluvia, debido a la baja permeabilidad de los suelos ubicados a partir de la parte media de la microcuenca.

Todas las corrientes de la parte alta y media de la microcuenca del río Cotón, aumentan su caudal en el recorrido, por lo que se clasifican como efluentes. Los resultados son los esperados, ya que en esta área es donde se produce el 97.35% de la recarga hídrica natural. En ningún tramo de la corriente principal y tributarios de la microcuenca del río Cotón, se determinó que las corrientes aportan agua al acuífero.

RECARGA HÍDRICA

Características físicas del suelo: Los mayores contenidos de materia orgánica, se determinaron en los suelos de las unidades de mapeo 22 y 23, el resto de unidades oscila entre bajo a aceptable, desde 0.2 en la unidad 6 hasta 6.12 % en la unidad 8. El contenido de materia orgánica influye directamente sobre la capacidad de retención del suelo, lo cual se evidencia en los resultados, ya que las unidades 22 y 23, presentan altos porcentajes de retención de humedad. Suelos como los de la unidad 19, en donde la textura predominante es arena franca, poseen bajos porcentajes de retención de humedad, además de ser pobre en contenido de materia orgánica, siendo de 0.4%.

Las texturas predominantes de los suelos en la microcuenca, son francas, francas arenosas y franco arcillosas. Esto es debido a que existió una mezcla entre el estrato de suelo y el material parental, ya que a excepción de los suelos de las unidades 2, 21, 22, 23, 24 y 25, en todas las demás mediante barrenamientos se detectó la presencia de esta capa.

Infiltración básica del suelo: En términos generales los valores de infiltración básica de los suelos de la microcuenca del río Cotón, son

bajos, a excepción de los que se ubican en la parte alta, donde se obtuvieron valores hasta de 0.58 m/día. En los suelos ubicados en la parte baja y media los valores oscilan entre 0.00 y 0.10 m/día. Según Smedema y Rycroft (1983), citados por Ritzema (1994), estos valores de infiltración básica corresponden a suelos arcillosos y franco arcillosos compactos y mal estructurados. Los análisis granulométricos indican que los suelos son de textura franca arcillosa a franca arenosa, por lo que las bajas velocidades de infiltración que se midieron se deben a la profundidad efectiva y a la estructura del suelo, ya que la estructura predominante es laminar, debido al ambiente metamórfico existente en el área. En las unidades 2, 21, 22 y 23, se midieron las mayores velocidades de infiltración, oscilando entre 0.58 y 0.45 m/día, correspondiendo estos valores de acuerdo con Smedema y Rycroft (1983) a un suelo arcilloso muy fino. El análisis granulométrico indica que estos suelos son de textura franca arenosa y franca arcillo arenosa (en el caso de la unidad 21), sin embargo hay que tomar en cuenta que pequeños contenidos de arcilla pueden hacer variar mucho la permeabilidad de un suelo. Además en estos suelos la profundidad efectiva es mayor que en el resto de unidades, ya que están cubiertos por bosques densos de especies latifoliadas, y por lo que se pudo observar, tienen mayor capacidad de formación de suelo que los bosques de coníferas (en el caso de la unidad 21). Esto se ve reflejado en los contenidos de materia orgánica que se determinaron, siendo las unidades 22 y 23, en donde se obtuvieron los valores más altos (19.88 y 11.24% respectivamente), característica que también les confiere alta retención de humedad. De acuerdo con Custodio y Llamas (2001), los suelos se clasifican como *poco y algo permeables*, lo que incluye materiales como, limo arenoso, limo, arcilla limosa, arena fina, arena limosa, caliza fracturada. Es importante mencionar que una característica muy importante de las rocas metamórficas, es la presencia de un material limoso (con sensación de talco), el cual al humedecerse ejerce una función sellante y cementante en los microporos del suelo, lo que también ayuda a explicar las bajas velocidades de infiltración que se midieron en los suelos de las distintas unidades de mapeo la microcuenca del río Cotón, principalmente en la parte baja. Por lo tanto, partiendo de esta clasificación, todos los suelos son *algo permeables (acuíferos pobres)*, a excepción de las unidades 9 y 11, que son *poco permeables (acuitardos)*. Según Sandoval (1987), la conductividad hidráulica de los suelos se clasifica como *muy lenta a moderadamente lenta*, clasificándose como *moderada* únicamente las unidades 22 y 23.

Recarga hídrica:

Cuadro 1. Balance hídrico de suelos de la microcuenca del río Cotón.

Entrada		Salidas		
Factor	M ³ /año	Factor	m ³ /año	%
Precipitación pluvial	44,308,857	Evapotranspiración real	23,073,277	52.07
		Escorrentía superficial	9,547,689	21.55
		Retención (vegetal y techos)	7,297,207	16.47
		Recarga Potencial	4,775,034	10.78
Sumatoria	44,308,857	Sumatoria	44,693,206	100.87

Potencialmente, el 97% de la recarga hídrica natural ocurre en la parte alta y media de la microcuenca, lo que equivale a un volumen 4,647,872 m³/año, del total de precipitación en esta área la recarga hídrica oscila entre 11 y 20%. El 3% restante de la recarga hídrica natural ocurre en la parte baja, siendo un total de 127,162 m³/año, lo que ayuda a explicar los ligeros aumentos de caudal en el tramo del cauce principal en esta parte de la microcuenca (principalmente en la época seca). En esta área la precipitación que recarga oscila entre 0 y 8%, existiendo mayor recarga en la unidad 18 (84,707 m³/año), dado a que se ve favorecida por las condiciones de topografía y vegetación existentes.

En las unidades restantes, no existe recarga hídrica natural, debido principalmente a la baja permeabilidad del suelo, con valores que oscilan entre 0.005 y 0.095 m/día. Además la profundidad efectiva del suelo no supera los 0.4 m (en algunos casos hasta 0.2 m) y con bajos contenidos de materia orgánica (en algunos casos < 1%), esto principalmente localizado en la parte baja de la microcuenca.

El volumen de recarga hídrica anual es el que alimenta el flujo base del río y manantiales durante la época seca, por medio de un tipo de flujo subsuperficial, que debido a la baja permeabilidad de los materiales es lento, y tiende a ser similar al flujo superficial, además hay que considerar que en el

área existe poco grado de fracturamiento. Es importante mencionar que dada la posición geográfica de la microcuenca, no existe un acuífero regional, sino un acuífero colgado.

La escorrentía superficial es de 9,547,689 m³/año, el caudal en el punto de aforo en la época de estiaje fue de 9,043 m³/día, aumentando significativamente en la época de invierno. El 67% de la escorrentía se produce en la parte baja, debido a la baja permeabilidad de los suelos. El restante 33% se produce en la parte alta y media, siendo la unidad 24 la que presenta un mayor volumen de escorrentía.

La evapotranspiración es el factor de salida que ocasiona más del 50% de pérdidas del volumen de precipitación pluvial en la microcuenca, principalmente, en aquellas unidades cubiertas con bosques densos (coníferas, latifoliadas o mixtos), en donde se estiman coeficientes de evapotranspiración hasta de 68%. Sin embargo, es importante hacer notar, que en estas áreas el coeficiente de escorrentía superficial es mínimo, siendo en algunos casos de 0%, como en las unidades de la parte alta, cubiertos con bosques densos y suelos con valores relativamente altos de permeabilidad.

El porcentaje de error se considera aceptable en cuanto a la estimación de la recarga hídrica natural, tomando como base el caudal de todos los manantiales de la microcuenca. Sin embargo, en el caso de la escorrentía superficial, el error se considera relativamente alto, lo cual se debe a que no se cuenta con una curva característica de caudales que permita determinar el flujo base de la microcuenca. Además, es importante mencionar, que durante un evento de lluvia, el caudal del cauce principal aumenta significativamente.

De acuerdo con la metodología de Herrera (2004), las unidades 2 y 23 se clasifican como *muy altas*, con volúmenes de recarga mayores de 300,000 m³/km², en el caso de las unidades 1, 3, 21, 22, 24 y 25 la recarga oscila entre 150,000 a 300,000 m³/km², clasificándose como *altas*. El resto de unidades se clasifican como medias (15 y 18) y bajas (19, 20 y 27), con volúmenes de recarga que oscilan entre 50,000 a 150,000 m³/km² y menores de 50,000 m³/km² respectivamente. Las unidades clasificadas como *altas* y *muy altas*, son las que aportan el 97% de la recarga hídrica natural en la microcuenca.

CALIDAD DEL AGUA

Consumo humano: Todos los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma COGUANOR 29001. La clasificación fisicoquímica de las fuentes de agua se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Clasificación fisicoquímica de las fuentes de aguas de la microcuenca del río Cotón.

No.	Clase de Agua	Clasificación Fisicoquímica	Predominancia de iones
1	Superficial	Bicarbonatada cálcica-magnésica	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Ca}^{++} \cdot \text{Mg}^{++} \cdot \text{Na}^+$
2	Subterránea	Bicarbonatada magnésica-cálcica	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Mg}^{++} \cdot \text{Ca}^{++}$
3	Subterránea	Bicarbonatada magnésica	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Mg}^{++}$
4	Subterránea	Bicarbonatada magnésica	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Mg}^{++}$
5	Subterránea	Bicarbonatada magnésica	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Mg}^{++}$
6	Superficial	Bicarbonatada magnésica	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Mg}^{++}$
7	Superficial	Bicarbonatada magnésica-cálcica	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Mg}^{++} \cdot \text{Ca}^{++}$
8	Subterránea	Bicarbonatada mixta	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Mg}^{++} \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{++}$
9	Subterránea	Bicarbonatada mixta	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{Mg}^{++} \cdot \text{Ca}^{++}$
10	Subterránea	Bicarbonatada mixta	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$
11	Superficial	Bicarbonatada sódica-cálcica	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{++}$
12	Subterránea	Bicarbonatada cálcica	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Ca}^{++}$
13	Subterránea	Bicarbonatada mixta	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Mg}^{++} \cdot \text{Ca}^{++} \cdot \text{Na}^+$
14	Superficial	Bicarbonatada mixta	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Mg}^{++} \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{++}$
15	Superficial	Bicarbonatada mixta	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{Mg}^{++} \cdot \text{Ca}^{++}$
16	Subterránea	Bicarbonatada mixta	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{++} \cdot \text{Mg}^{++}$
17	Superficial	Bicarbonatada mixta	$\text{HCO}_3^- \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{++} \cdot \text{Mg}^{++}$

El cauce principal en la parte media de la microcuenca se clasifica como bicarbonatada cálcica-magnésica y en el punto de aforo como bicarbonatada magnésica-cálcica, debido al aporte significativo en caudal que tributa el manantial Joya Oscura, el cual se clasifica como bicarbonatada-magnésica. La presencia del Calcio en el cauce principal se atribuye, a que en esta parte esta ubicado sobre una capa de caliza de espesor considerable. Los manantiales que abastecen las comunidades del municipio de Pachalúm (incluyendo el manantial Joya Oscura), se clasifican como bicarbonatadas-magnésicas, a excepción del manantial del proyecto Altos-Piedras Blancas. Por lo tanto se puede inferir que la fuente de recarga hídrica natural es la misma, lo que ayuda a explicar la descarga del manantial Joya Oscura.

La mayoría de las fuentes ubicadas en la parte alta de la microcuenca, se clasifican como bicarbonatadas mixtas. La presencia del Magnesio y Sodio se atribuye a que el contenido mineralógico del material geológico en esta área está constituido por magnesiohornblenda (silicatos complejos hidratados de Mg), Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y cuarzo (SiO_2). Hay que considerar que otra fuente potencial del Sodio puede ser la contaminación de las fuentes por basura, ya que en 3 de los manantiales utilizados para riego existe predominancia de este elemento. Debido a la contaminación bacteriológica, únicamente se consideran aceptables las fuentes que abastecen los proyectos de Pachalúm 1 y Altos-Toro Seco. La calidad del agua para riego se clasifica según USDA como C_1S_1 y de acuerdo con FAO se clasifica sin problema y apta.

Lineamientos de manejo

De los problemas que se detectaron en el análisis FODA, se proponen los siguientes lineamientos de manejo:

Recarga hídrica natural

- Mantener la cobertura vegetal en las unidades 22 y 23, dada que son áreas críticas de recarga hídrica natural, categorizadas como *altas*, así como mejorar la cobertura mediante la rehabilitación natural del bosque.
- Establecimiento de bosques de producción, principalmente especies forestales para leña.
- Establecimiento de bosques de galería en las márgenes de los cauces naturales.
- En las unidades 3 y 24, implementar sistemas agroforestales con especies locales.
- Implementar prácticas de conservación de suelos, como curvas a nivel, pozos de absorción, barreras, con el propósito de disminuir la escorrentía superficial.
- En las áreas agrícolas determinar los niveles de uso de agroquímicos, así como considerar la aplicación de productos orgánicos.
- En las unidades 1 y 21, implementar métodos sostenibles de extracción de productos forestales, ocote y resina principalmente.

Calidad del agua

- Establecer un radio fijo de protección en donde no se permita ninguna actividad antropogénica.
- Realizar tratamiento al agua, principalmente cloración en los tanques de distribución.

- Monitorear constantemente la calidad del agua de los manantiales captados, principalmente bacteriológica, 2 veces al año, en época seca y lluviosa.
- Realizar análisis de plaguicidas a los manantiales captados.
- Implementar sistemas de mantenimiento constante a las obras (caja de captación y tanque de distribución) de los sistemas de abastecimiento de agua.

Aprovechamiento del recurso hídrico

Consumo humano

- Reducir las pérdidas y posibilitar el control del consumo que realizan los diversos usuarios mediante la reparación de redes, eliminación de fugas e instalación de contadores individuales.
- En la cabecera municipal de Pachalúm, realizar una evaluación de la eficiencia del sistema de distribución, ya que actualmente el suministro de agua es discontinuo.
- Reducir el consumo mediante programas de concienciación ciudadana.

Riego

- Realizar estudios detallados sobre los requerimientos hídricos de los cultivos del área, principalmente arveja china y brócoli.
- Considerar la instalación de un tanque evaporímetro clase "A".
- Evaluar los sistemas de riego en operación con el objetivo de mejorar su eficiencia.

Proyectos de desarrollo local

- Implementar sistemas de tratamientos de residuos sólidos, como fosas sépticas o letrinas aboneras principalmente.
- Implementar un sistema de recolección de basura.
- Implementar sistemas de producción de biogas.
- Reducir la presión sobre el uso del bosque como fuente de leña mediante el uso de estufas mejoradas.

Capacitación

- Importancia del uso, manejo y conservación de los recursos agua, suelo y bosque.
- Implementar programas escolares de educación ambiental.
- Importancia del uso eficiente del agua y sus repercusiones en el futuro.

- Técnicas agrícolas y forestales, como prácticas de conservación de suelos, agricultura orgánica, manejo integrado de plagas, extracción de productos forestales, entre otras.

Investigación

- Continuar monitoreando el clima, considerar además la instalación de nuevas estaciones.
- Considerar la instalación de una estación hidrométrica en el cauce principal.
- Realizar estudios detallados de capacidad de uso del suelo.
- Realizar estudios de hidrología forestal.

Organización

- Informar a la población y líderes locales de los resultados de este estudio, haciendo énfasis en el porqué del estudio, la necesidad del mismo y su utilidad como herramienta de planificación y gestión del recurso hídrico.
- Formación y concienciación a los líderes locales respecto a las implicaciones y tendencias del manejo actual del agua en la microcuenca.
- Informar a líderes locales sobre las distintas leyes involucradas en el manejo de los recursos naturales en general y los recursos hídricos en particular.
- Capacitación a líderes en cuanto a tecnologías de manejo del agua: técnicas de conservación de agua, técnicas de cosecha de agua, usos productivos del agua.
- Promover el intercambio y las visitas hacia otras experiencias rurales de manejo del agua en diversos campos, encaminado a dotar a los líderes de suficiente formación, información y capacitación que les permite tomar decisiones respecto a un plan local de manejo sostenible de los recursos hídricos.
- El otro aspecto que no se debe descuidar, tiene que ver con dotar a los líderes de herramientas adecuadas de comunicación de la información, pues se debe garantizar que una vez informados, formados y capacitados, comuniquen el conocimiento hacia todas las comunidades de manera que las decisiones sean también el producto de la participación de todas las personas habitantes de la microcuenca.

CONCLUSIONES

1. El cauce principal de la microcuenca, así como todos sus tributarios son corrientes efluentes.
2. Dada las características geológicas del área de influencia de la microcuenca del río Cotón, los suelos se clasifican como poco (parte baja) y algo

- permeables (parte alta y media) con permeabilidades que oscilan entre 0.58 m/día y 0.005 m/día.
3. La recarga hídrica natural potencial en la microcuenca es de 4,775,034 m³ anuales.
 4. La recarga hídrica natural potencial en la microcuenca constituye únicamente el 10.78% de la precipitación pluvial total, perdiéndose la mayor parte por evapotranspiración real y escorrentía superficial.
 5. El 97% de la recarga hídrica natural en la microcuenca ocurre en los suelos de la parte alta y media, lo que equivale a un volumen 4,647,872 m³ anuales.
 6. Basado en criterio cuantitativo y de ubicación de captación de proyectos de agua para consumo humano y riego, las áreas de recarga hídrica natural más importantes en la microcuenca son las unidades 1, 2, 3, 21, 22, 23, 24 y 25.
 7. Las áreas críticas de recarga hídrica natural en la microcuenca son las unidades 22 y 23, consideradas de *Alta Susceptibilidad*, y las unidades 1, 2, 3, 21, 24 y 25 consideradas de *Moderada Susceptibilidad*, el resto de unidades se considera de *Baja Susceptibilidad*.
 8. De acuerdo con los resultados fisicoquímicos de todas las fuentes de agua que se muestrearon en la época de estiaje, no representan riesgo para la salud humana, cumpliendo en todos los casos con lo establecido por la norma COGUANOR 29001.
 9. Las fuentes de agua se clasifican como bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas magnésicas y bicarbonatadas mixtas, debido principalmente a la disolución de los minerales constituyentes de la geología del área de recarga de los manantiales.
 10. La calidad del agua no es apta para consumo humano, debido a la contaminación bacteriológica.
 11. Todas las fuentes de agua a excepción del cauce principal son clase C₁S₁.
 12. Todas las fuentes se clasifican como *sin problemas y aptas* para ser usadas en riego agrícola.
 13. Los proyectos de Pachalúm 1 y 2, poseen bajas eficiencias de conducción, siendo de 49 y 74% respectivamente, en los demás proyectos las pérdidas de agua son menores del 10%.
 14. Dada las condiciones climáticas y la población a dotar, el proyecto Manzanote es el único que presenta un déficit para consumo humano de 7 m³/día. Los proyectos Pachalúm y Altos-Piedras Blancas presentan los mayores excedentes (206 y 434 m³/día).

15. Según la proyección de la demanda de agua para consumo humano, las comunidades que más se verán afectadas serán Altos-Piedras Blancas, Pachalúm y Manzanote.

RECOMENDACIONES

1. Mantener la cobertura boscosa en las áreas críticas de recarga hídrica natural y en las áreas agrícolas; tratar de recubrir las áreas susceptibles a erosionarse.
2. Realizar por lo menos un muestreo anual para determinar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua, principalmente en los manantiales que abastecen de agua para consumo humano.
3. Establecer áreas de protección de los manantiales principalmente para consumo humano.
4. Implementar sistemas de potabilización del agua (cloración).
5. Establecer en la medida de lo posible sistemas de saneamiento y tratamiento de desechos sólidos (basura) y de aguas servidas, con el objetivo de disminuir la contaminación al acuífero.
6. Implementar planes de mantenimiento y supervisión de los proyectos de abastecimiento de agua.
7. Realizar estudios detallados sobre los requerimientos de riego de los cultivos de la microcuenca.
8. Continuar monitoreando el clima en el área de influencia de la microcuenca del río Cotón, tanto en las partes altas, en donde se da la mayor recarga hídrica natural, como en las partes bajas.
9. Implementar programas de concienciación a la población sobre el manejo de los recursos naturales y su influencia en la recarga hídrica natural.
10. Implementar programas de capacitación sobre prácticas agrícolas y forestales, así como relacionadas con el uso, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico.

AGRADECIMIENTOS

MIS ASESORES: Ing. M.Sc. Eugenio Orozco y Orozco, Ing. M.Sc. Tomás Padilla Cámara e Ing. M.Sc. Marvin Salguero, por compartir su amistad y asesoría brindada para la realización del presente estudio.

RED CENTROAMERICANA PARA EL MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS, por haberme otorgado la beca para realizar los estudios de maestría.

MUNICIPALIDAD DE PACHALÚM, QUICHÉ, por toda la colaboración brindada en la realización del presente estudio.

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES, por la información proporcionada para la realización del presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alonso Rodríguez, N; Camejo Barreiro, E; Pacheco Seguí, J; Pujol Osle, P. 1995. Riego y drenaje. La Habana, Cuba, Editorial Pueblo y Educación. 414 p.
2. Alvarado, GD. 1998. Fisiografía y morfología del drenaje. *In* Drenaje agrícola. Ed. por Eddi Alejandro Vanegas. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. p. 9-22.
3. Alvarado, G; Herrera, I. 2000. Mapa fisiográfico – geomorfológico de la república de Guatemala. Guatemala, Plan de Acción Forestal para Guatemala. Esc. 1:250,000. Color.
4. Allara Morales, HS. 1990. Estudio preliminar de suelos salinos y sódicos en la unidad de riego La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 67 p.
5. Aparicio, M. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa. 303 p.
6. Apesa-Geoinformática, GT. 1992. Mapa de unidades básicas potenciales, hoja Granados no. 2060 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
7. Apesa-Geoinformática, GT. 1992. Mapa de uso actual de la tierra, hoja Granados no. 2060 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
8. Ávalos Cambranes, OA. 2003. Zona de recarga hídrica del área de influencia del cerro Tuncáj, Granados, Baja Verapaz, Guatemala. *In* Congreso latinoamericano de manejo de cuencas hidrográficas (3., 2003, Arequipa, Perú). Desarrollo sostenible en cuencas hidrográficas; libro de resúmenes. Perú, FAO. p. 201.
9. Cabrera, CA. 1997. Determinación de políticas de explotación de las aguas subterráneas para las aldeas de San José Pacul y Pachalí del municipio de Santiago Sacatepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 52 p.
10. Castañeda, A. 2003. Tratamiento de aguas con compuestos inorgánicos para fines agrícolas y domésticos. *In* Curso calidad del agua para uso agrícola (2., 2003, Guatemala). Guatemala, Red-CARA. 1 CD.
11. Castillo Orellana, S. 1989. Análisis y calidad del agua con fines de riego. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 108 p.
12. Cruz, JR De La. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
13. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1, 1157 p.
14. DIGI (USAC, Dirección General de Investigación, GT). 1994. Diagnóstico de los recursos naturales y ambiente. Guatemala. 75 p.
15. Chiquín, LG; Requena, JE. 2001. Mapeo geológico de superficie del cuadrángulo Granados, escala 1:50,000. Guatemala, USAC, Centro Universitario del Norte, Carrera de Geología. 49 p.
16. FAO, IT. 1996. Producción de alimentos: función decisiva del agua (en línea). Roma, Italia. 37 p. (Documentos técnicos de referencia v. 2, no. 7). Consultado 13 may. 2003. Disponible en: http://www.fao.org/wfs/index_es.htm
17. Fassbender, HW. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 420 p.
18. García Ovalle, JG. 1996. Prevención y control de calidad del agua. 9 p. Presentado en: Seminario - taller situación actual y perspectivas para el aprovechamiento integrado y sustentable del recurso hídrico en Guatemala (1996, Guatemala).
19. González H. 2003. Notas del curso planificación y desarrollo integrado de los recursos hídricos. Maestría en Manejo Sostenible de Suelo y Agua. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. s.p. (Correspondencia personal)

20. González Lajuj, AM. 2003. Propuesta de ordenamiento territorial rural del área de influencia del cerro Tuncáj, Granados, Baja Verapaz. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, Proyecto de Investigación Forestal, Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos. 30 p.
21. Grassi, C. 1990. Fundamentos del riego. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 409 p.
22. GUATEMALA. INSIVUMEH-BRGM. 1997. Modelización del transporte de agua y solutos en los estratos volcánicos y sedimentarios en la Ciudad de Guatemala. Proyecto de cooperación Franco-Guatemalteco. 144 p.
23. Herrera I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
24. Herrera I. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología. 104 p.
25. Herrera I. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 192 p.
26. Herrera I. 2004. Estudio hidrogeológico de la parte norte de la caldera del lago de Atitlán, Guatemala. *In* Encuentro de estudiantes de maestría de la Red CARA (1., 2004, Escuintla, Guatemala). Guatemala. 1 CD.
27. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1973. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja cartográfica Cubulco, no. 2061 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
28. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1976. Mapa topográfico de república de Guatemala; hoja cartográfica Granados 2060 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
29. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2003. Población y locales de habitación particulares censados según departamento y municipio (cifras definitivas): Censos nacionales XI de población y VI de habitación 2002. Guatemala, 38 p.
30. Johnson, E. 1975. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, Estados Unidos, Johnson. 513 p.
31. Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, McGraw-Hill. 386 p.
32. López Choc, F. 1998. Apoyo para políticas y estrategias de manejo integrado de recursos hídricos en América Central. 11 p. (Correspondencia personal)
33. López F. 1991. La degradación y pérdida de los suelos agrícolas. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 94 p.
34. López Vera, F. 2001. Fundamentos de economía, administración y gestión de recursos hídricos. *In* Jornada iberoamericana sobre enfoques integrados de la problemática del agua (1., 2001, Antigua Guatemala, GT). Antigua Guatemala. 42 p.
35. Machorro, RA. 1993. Geology of the northwestern part of the Granados quadrangle, central Guatemala. Thesis MSc. El Paso, US, University of Texas. 76 p.
36. Machorro, RA. 2000. Hidrogeología física, principios y aplicaciones. Guatemala, Sociedad Geológica Guatemalteca. 113 p.
37. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT); DIRYA (Dirección de Riego y Avenamiento, GT). 1991. Plan maestro de riego y drenaje. Guatemala. 60 p. (Proyecto PNUD/OSP/GUA/88/003).
38. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT); PAFG (Plan de Acción Forestal para Guatemala, GT); INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT); CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 1999. Política forestal de Guatemala. Guatemala. 41 p.
39. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT) 2000. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. Color. 1 CD.

40. MINECO (Ministerio de Economía, GT); COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones, GT). 2001. Norma NGO 29 001 agua potable. Guatemala. 3 p.
41. Monsalve Sáenz, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. México, Alfaomega. 383 p.
42. Montejo Montejo, LA. 2003. Inventario forestal del área de influencia de la zona de recarga hídrica del cerro Tuncáj, Granados, Baja Verapaz. Jacaltenango, Huehuetenango, Guatemala, Escuela Técnica de Formación Forestal. 54 p.
43. NOVIB (Organización Holandesa para la Cooperación Internacional al Desarrollo, ND); Fundación Solar, GT. 2001. Estado del agua en Guatemala 2000. Guatemala. 55 p.
44. Oliva H, BE; Callejas R, BC; Pérez S, JF. 2001. Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas del río Las Vacas; proyecto 82-99 de la línea FODECYT. Guatemala, USAC, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Química, Unidad de Análisis Instrumental. 142 p.
45. OMS (Organización Panamericana de la Salud, US). 1987. Guías para la calidad del agua potable; criterios relativos a la salud y otra información base. Washington, US. v. 2, 350 p.
46. Orozco, E; Padilla, T; Salguero, M. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía-Instituto Nacional de Bosques. 106 p.
47. Padilla, T. 2003. Hidrogeoquímica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 33 p. (Correspondencia personal)
48. Ritzema, H. 1994. Drainage principles and applications. Wageningen, The Netherlands, ILRI. 1125 p.
49. Price, M. 2003. Agua subterránea. México, Limusa. 330 p.
50. Ruiz, JM. 2003. Utilización del balance de cloruros en la zona no saturada en la estimación de la recarga natural a un acuífero detrítico (en línea). Madrid, Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Consultado 01 mar. 2003. Disponible en: www.igme.es/internet/publicaciones/boletin/112_2.htm.
51. Sandoval, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
52. Schosinsky, G; Losilla, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central no. 23:44-54.
53. SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, GT); CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, GT); CRRH (Comité Regional de Recursos Hidráulicos); CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana). 1998. Plan de acción para la gestión integrada de los recursos hídricos del istmo centroamericano: documento base para su discusión. Guatemala. 44 p.
54. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000 p.
55. Tebbutt, THY. 1990. Fundamentos de control de calidad del agua. Trad. por Raúl Arriola Juárez. México, Limusa. 239 p.
56. Tijerina, A. 2003. Relaciones entre el contenido de agua, potencial del agua y componentes de potencial. México, Chapingo, Colegio de Postgraduados. 36 p. (Correspondencia personal)

56. USAC, Dirección General de Investigación, GT; USAC, Centro Universitario del Norte. s.f. Mapa geológico del cuadrángulo de Granados. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
57. Vargas, A. 2002. Delimitación de áreas de protección de fuentes de abastecimiento de agua subterránea: notas del curso "Modelaje de Aguas Subterráneas". Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología. 21 p.
58. Vargas, A. 2002. Manantiales de una parte del valle central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central no. 27:39-52.
59. Velásquez V, E. 1996. Situación actual del sector hídrico en Guatemala. 13 p. Presentado en: Seminario – taller situación actual y perspectivas para el aprovechamiento integrado y sustentable del recurso hídrico en Guatemala (1996, Guatemala). Guatemala.

-
1. Estudiante de la maestría en manejo sostenible de suelo y agua. FAUSAC.
 2. Asesor principal. Profesor titular FAUSAC.
 3. Asesor adjunto. Profesor titular FAUSAC.
 4. Asesor adjunto. Profesor titular FAUSAC.

USO DE UN MARCADOR MOLECULAR EN LA SELECCIÓN DE PLANTAS RESISTENTES A NEMATODOS FORMADORES DE NUDOS RADICULARES EN UN PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA DE TOMATE

Carolina Rosales de Zea
Luis Mejía De León
Sergio Melgar Valladares
Domingo Amador Pérez



INTRODUCCIÓN

La importancia del tomate cultivado *Lycopersicon esculentum* Mill. (Familia Solanaceae) como hortaliza a nivel mundial ha aumentando considerablemente y en la actualidad representa más del 30% de la producción hortícola mundial. Debido a su autogamia, presenta una variabilidad reducida para determinados caracteres de interés agronómico, no obstante, este problema se ha superado exitosamente con el uso de especies silvestres que representan una importante fuente de variabilidad. De hecho es la especie cultivada en la cual han sido más utilizadas estas últimas.

La única resistencia obtenida hasta ahora contra los nemátodos formadores de nudos radiculares *Meloidogyne* spp. es conferida por el gen dominante *Mi-1.2* que fue introducido al tomate cultivado a partir de la especie silvestre *Lycopersicon peruvianum* L. por rescate de embriones en un cruce interespecífico realizado por Smith en 1944. El gen *Mi-1.2* fue clonado e identificado por Milligan *et al* (1998) y confiere resistencia a tres de las especies más dañinas de nemátodos formadores de nudos radiculares, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne arenaria* y *Meloidogyne incognita*, así como al áfido de la papa *Macrosiphum euphorbiae*. En la actualidad, existen diversas técnicas de marcadores moleculares que permiten a nivel de laboratorio determinar de manera efectiva y en poco tiempo la resistencia de las plantas de tomate a los nemátodos *Meloidogyne* spp. Esto último representa una ventaja puesto que los bioensayos de resistencia toman varios meses en el campo.

El presente estudio está basado en el uso del marcador codominante REX-1 desarrollado por Williamson *et al* (1994). El mismo permite con el uso de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), amplificar un fragmento de ADN de 750 pb estrechamente ligado al gen del tomate *Mi*. Este fragmento tiene un sitio de restricción en las plantas resistentes que permite identificar por el número de bandas y su tamaño, cuáles de ellas son heterocigotos u homocigotos resistentes para REX-1, mientras que las plantas susceptibles no tienen sitio de restricción. Se logró estandarizar la técnica descrita y posteriormente determinar el genotipo REX-1 de 77 materiales evaluados actualmente por el Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de la Facultad de Agronomía. En el estudio también se determinó el genotipo REX-1 de 22 plantas con el uso de la secuenciación de ADN.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Técnica de PCR

Los genotipos estudiados por la técnica de PCR están representados por la población híbrida H44 (60 individuos), sus parentales y líneas relacionadas, siendo estas, los híbridos FAVI 9, H5 y Marina y las líneas GF1, GF13, GF3, GP10 y Pimper J13. Asimismo se estudió el genotipo de los siguientes materiales: el híbrido 2305-1, los cultivares Sun Coast, Rodade, Very Firm, Lignon, HC 7880 y M-82 así como las líneas Ty- 197, Ty- 198, Fla 024623-y3, Fla 024524-5, Fla 024525-9, GS16 y las variedades Money Maker 1 y 5.

Secuenciación de ADN

Se incluyeron 22 individuos que constituyen la progenie de una planta híbrida H44 que previamente (por PCR) se había determinado con genotipo heterocigoto para el marcador. Esta parte del estudio se llevó a cabo en el Departamento de Patología Vegetal de la Universidad de Wisconsin en Madison.

Las plantas híbridas Marina y Better Boy se usaron como control positivo; las primeras con el técnica de PCR mientras que las segundas fueron el control positivo para la secuenciación de ADN. El tomatillo (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) fue el control negativo para las muestras evaluadas por el método de PCR mientras que el cultivar cubano HC 7880 fue el control negativo usado en la secuenciación de ADN.

Técnicas del ADN

- La extracción del ADN fue realizada como se describe en el instructivo del kit Puregene[®] de Gentra D-5500^a.
- Dos kits comerciales (Promega y PCR Beads Amersham Pharmacia Biotech) se utilizaron en la amplificación del ADN por la técnica de PCR.
- La amplificación por PCR del marcador REX-1 se realizó en un termociclador marca Peltier Thermal Cycler PTC-200 MJ Research utilizando los primeros o cebadores REX-F1 (5'-TCG GAG CCT TGG TCT GAA TT-3') y REX-R3 (5'-ATG CCA GAG ATG ATT CGT GA-3') producidos por la empresa Integrated DNA Technologies, Inc.
- El termociclador se programó de acuerdo con las condiciones descritas por Williamson *et al.* (1994).
- El corte enzimático para revelar los polimorfismos se hizo con la enzima Taq I manufacturada por la empresa Promega. Se utilizó como se describe en Williamson *et al.* (1994).
- Para la secuenciación del fragmento REX-1 se utilizó el método dideoxi.

Análisis de datos

Los productos de la amplificación por PCR se corrieron en un gel de agarosa al 0.8 %, mientras que los productos del corte con la enzima de restricción en un gel de agarosa al 1.5%. La lectura y análisis de las bandas se realizó con el uso de una cámara de luz ultravioleta marca UVP ultraviolet product. Para cada gel obtenido se tomaron fotografías. La detección de bandas correspondientes al gen REX-1 sobre el gel de agarosa se realizó como se describe en Williamson *et al.* (1994): Homocigotos susceptibles: 1 banda de 750 pb; homocigotos resistentes: 2 bandas de 570 + 160 pb y heterocigotos: 3 bandas de 740 + 570 + 160 pb (Figura 1).

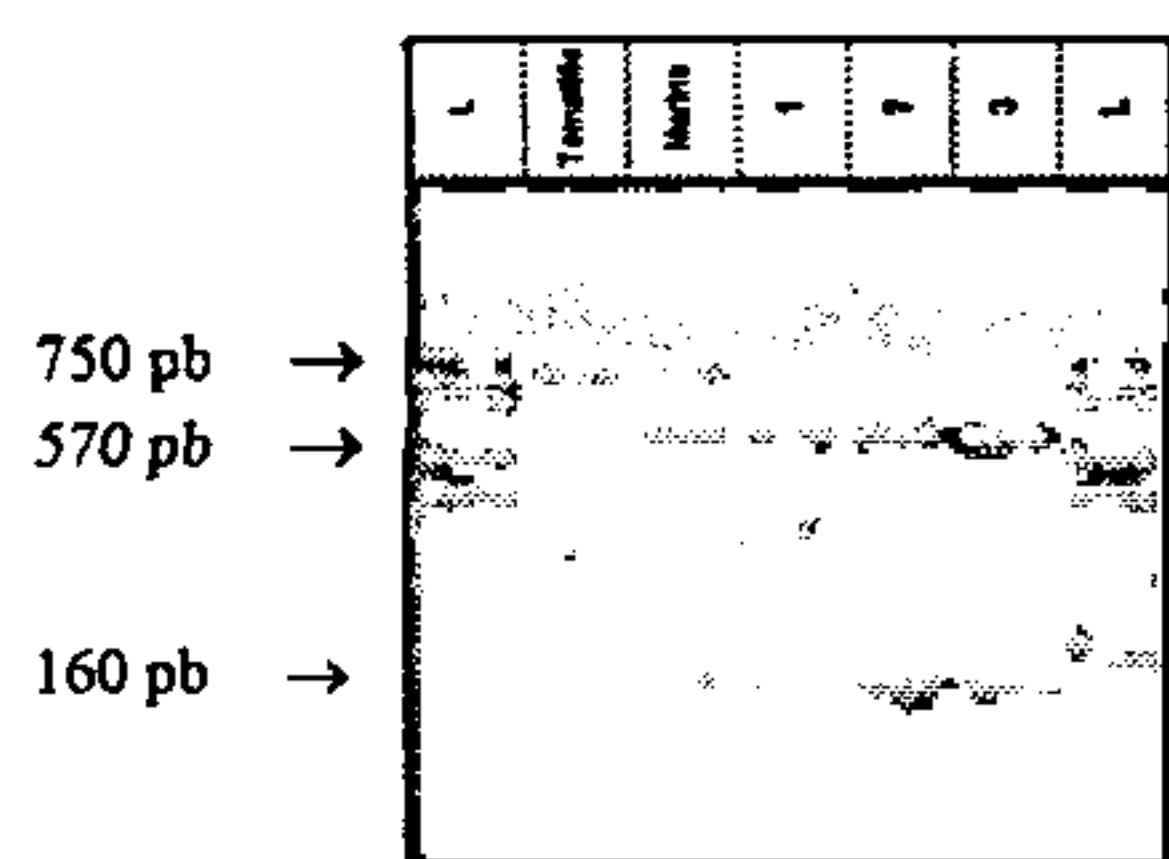


*Figura 1..Fotografía de un gel de agarosa después de la amplificación del marcador PCR REX-1 y su corte con la enzima Taq I. En el primer carril se observa que Tomatillo (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) no muestra sitio de corte. En el segundo carril, el híbrido comercial Marina es heterocigoto por lo que despliega las bandas de 750, 570 y 160 pb. Los individuos 1,2 y 3 son homocigotos resistentes para el marcador por lo que se observan las bandas de 570 y 160 pb.*

Los resultados de las 22 secuencias de ADN fueron enviados desde el Centro de Biotecnología de la Universidad de Wisconsin en Madison en el programa Chromas 1.5. que puede obtenerse por internet y despliega los archivos de cromatogramas a partir de secuenciadores automatizados de "Applied Biosystems" y archivos en el formato Staden SCF. La interpretación de los cromatogramas se hizo con la secuencia del cebador forward tal y como se indica en la figura 2.

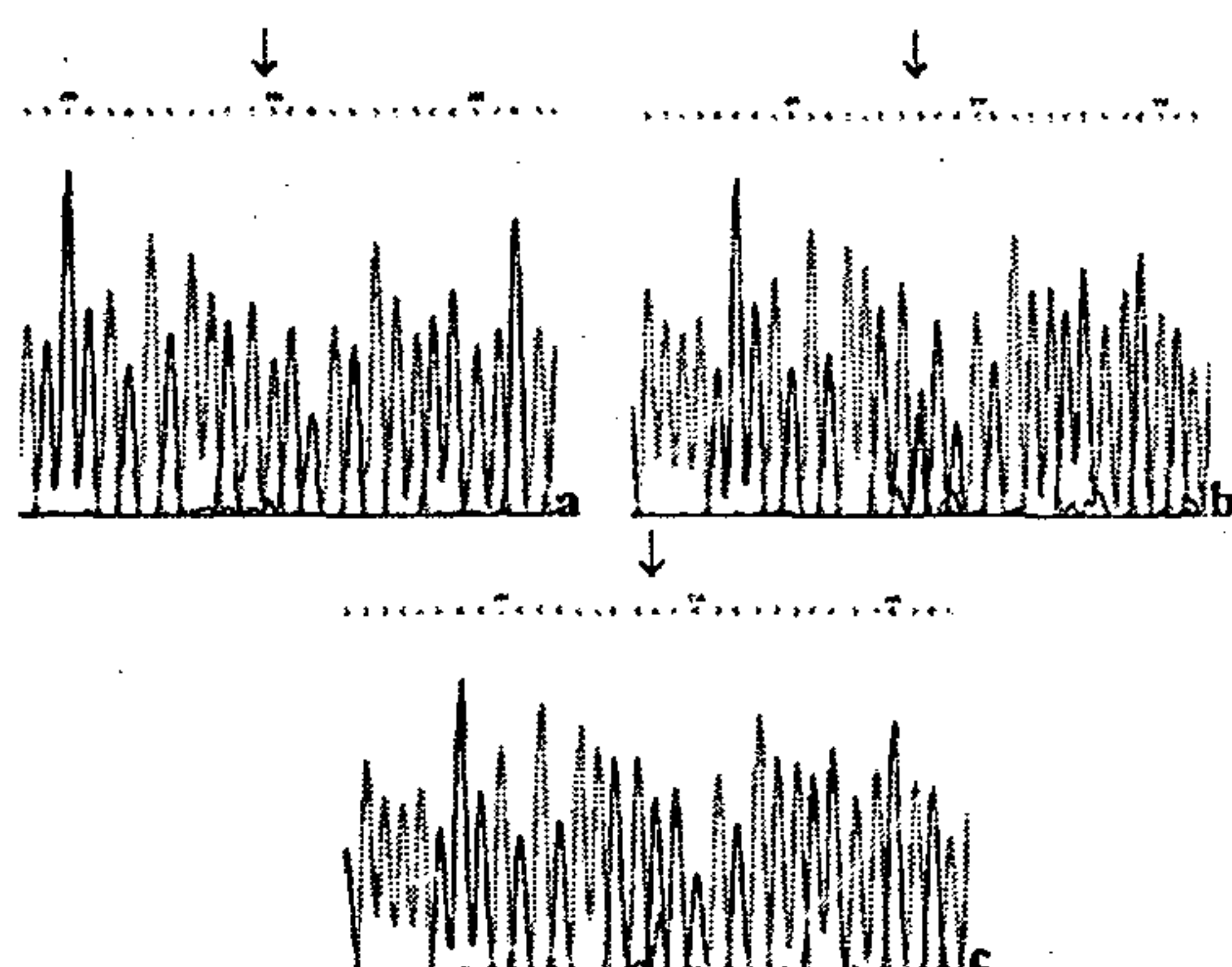


Figura 2. Cromatogramas de las secuencias de ADN de 3 plantas F_2 del híbrido H44 para la región correspondiente al sitio de la enzima de restricción Taq I del marcador PCR REX-1 en el marcaje del gen Mi. El polimorfismo de un solo nucleótido – SNP- (T/G) está marcado con una flecha. Una T corresponde al marcador del gen Mi y una G al marcador susceptible

ble del gen. El primer cromatograma representa a una planta homocigoto resistente para el marcador, el segundo a un heterocigoto y el tercero a una planta susceptible

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estandarización de la técnica de PCR-REX-1

Para estandarizar la técnica basada en PCR, se comparó la efectividad de dos kits comerciales en la amplificación del fragmento de 750 pb correspondiente a REX-1. Sólo uno de los kits, el de PCR Beads, permitió la amplificación efectiva del fragmento en los materiales estudiados. Este kit fue también el único que permitió el corte efectivo de la enzima Taq I de Promega para obtener los fragmentos de restricción que permiten identificar los alelos para este marcador. Luego de estandarizada la técnica, fue posible determinar el genotipo REX-1 para los controles positivos y negativos del estudio, así como para los 77 materiales de interés.

Genotipo REX-1 de los controles positivos y negativos

Las plantas híbridas Marina y Better Boy están registradas comercialmente como portadoras del gen *Mi*. Para Marina se evaluó el ADN de 5 diferentes plantas, resultando todos los individuos heterocigotos para REX-1 (tabla 1). El híbrido Better Boy también es heterocigoto para este marcador de acuerdo con los resultados de la secuenciación (tabla 1). El tomatillo (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) fue el control negativo para las muestras evaluadas por el método de PCR mientras que el cultivar cubano HC 7880 fue el control negativo usado en la secuenciación de ADN. Ambos resultaron susceptibles para el marcador como se esperaba (tabla 1).

Tabla 1 Genotipo para el marcador REX-1 de los controles positivos y negativos

Híbrido, Cultivar, especie	Genotipo para REX-1
Marina	Heterocigoto (<i>REX-1/REX-1+</i>)
Better Boy*	Heterocigoto (<i>REX-1/REX-1+</i>)
Tomatillo	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)
HC 7880**	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)

*Datos de secuenciación de ADN

**Datos de secuenciación de ADN y PCR

Genotipo REX-1 de la población híbrida H44, sus parentales y líneas relacionadas, usando la técnica de PCR y secuenciación de ADN

En la figura 3 se observa el árbol genealógico del híbrido H44. La población H44 proviene del cruce entre el híbrido H5 (GF1 X GP10) y el híbrido comercial Marina (resistente a nematodos). Marina presentó un genotipo heterocigoto (*REX-1/REX-1+*) para REX-1, mientras que para el híbrido H5 se evaluaron 5 individuos, 4 de ellos con genotipo heterocigoto (*REX-1/REX-1+*) y 1 con genotipo homocigoto resistente (*REX-1/REX-1*). En relación al genotipo REX-1 de los parentales del híbrido H5, la línea GP10 (P2-1132) fue susceptible, mientras que GF1 (F6 522) resultó homocigoto resistente para el marcador (tabla 2, figura 3). Recientemente D. Maxwell¹ y V Williamson han encontrado, por análisis de

1. Comunicación personal con el Dr. Douglas Maxwell (08/03/2004) en relación a los SNPs encontrados en varias líneas incluidas en el proyecto de investigación a su cargo.

secuencias de ADN, que los polimorfismos de un solo nucleótido SNPs para la línea GF1 concuerdan con los polimorfismos encontrados para la línea Motelle que es portadora de la introgresión de *L. peruvianum* conteniendo al gen *Mi*. Motelle presenta un genotipo *Mi* homocigoto resistente (Williamson *et al.* 1994). De acuerdo con esta información, el genotipo REX-1 para GF1 (*REX-1/R-1*) concordaría con su genotipo para *Mi* (*Mi/Mi*). No obstante, la línea GF1 proviene del híbrido FAVI 9 que presenta resistencia a geminivirus proveniente de *L. hirsutum*, pero no se reporta resistente a nematodos formadores de nudos radiculares*. De hecho el híbrido FAVI 9 y las líneas derivadas de él, GF3 y GF13 no presentaron el marcador REX-1 asociado a la resistencia (figura 3).

D. Maxwell y V. Williamson¹ (quien desarrolló el marcador REX-1) cuestionan la utilidad del marcador REX-1 como indicador de resistencia a nemátodos en las líneas asociadas a FAVI. Ellos encontraron que el marcador de resistencia REX-1 estaba presente en la línea 902 que es susceptible a nematodos de acuerdo con los bioensayos realizados por F. Vidavsky. Esta línea fue usada como uno de los parentales en cruces como FAVI 9 y es resistente a geminivirus a partir de *L. hirsutum*. Por esto, concluyen que el marcador REX-1 da falsos positivos en las líneas asociadas a FAVI 9 que incluyen las líneas GF de Guatemala, opinión que es apoyada por F. Vidavsky**.

Aparentemente el marcador resistente REX-1 está asociado al gen *Mi* susceptible en la línea GF1. Los posibles eventos genéticos que pudieron dar como resultado esta asociación incluyen la recombinación, que pudo ocurrir en las líneas de *L. esculentum* utilizadas en el cruce para obtener la línea 902 (figura 3). En este caso *L. esculentum* pudo haber tenido el fragmento REX-1 de algún ancestro *L. peruvianum*.

* Comunicación personal con el Dr. Favi Vidavsky (27/02/2004) en relación a la resistencia a nematodos de las líneas derivadas de la línea 902.

¹ Comunicación personal (26/02/2004) con el PhD. Douglas Maxwell sobre la investigación que realiza con el marcador REX-1 en las líneas de FAVI.

** Comunicación personal (27/02/2004) con el PhD. Favi Vidavski sobre los bioensayos de resistencia a nematodos realizados por él en la línea 902 y los genotipos esperados para líneas derivadas de ésta.

También una mutación en el exón del gen *Mi* o una mutación en el promotor del gen *Mi* pudo generar la susceptibilidad a nematodos. Una tercera posibilidad es que los SNP's de *L. peruvianum* en la introgresión que incluye a REX-1 coincidan con los SNP's de *L. hirsutum* presentes en la línea 902.

En relación a las 60 plantas híbridas H44 estudiadas todas resultaron ser resistentes para el marcador REX-1. De ellas, 28 plantas son heterocigotos (*REX-1/REX-1+*) y 32 homocigotos resistentes (*REX-1/REX-1*) como se predeciría de acuerdo con el genotipo de los parentales si uno es heterocigoto y el otro homocigoto resistente para el marcador REX-1. El método estadístico de Ji-cuadrada no permitió determinar diferencias significativas con la proporción esperada de 1:1 ($\chi^2 = 3.84$, $p=0.46$).

Tabla.2 Genotipo para el marcador REX-1 de los parentales del híbrido H44 y líneas relacionadas

Parentales y líneas relacionadas	Genotipo para REX-1
Marina	Heterocigoto (<i>REX-1/REX-1+</i>)
FAVI9	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)
GF1	Homocigoto (<i>REX-1/REX-1</i>)
GF3	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)
GF13	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)
GP10	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)
H5 (5 individuos)	4 homocigotos (<i>REX-1/REX-1</i>) 1 heterocigoto (<i>REX-1/REX-1+</i>)

En el estudio se incluyó la progenie de la planta No. 29 del híbrido H44, que presentó un genotipo heterocigoto para REX-1 por la técnica de PCR. Se utilizó la secuenciación del fragmento REX-1 para determinar el genotipo de 22 de estos individuos. En los cromatogramas de las secuencias correspondientes se encontraron SNPs que permitieron identificar 9 individuos heterocigotos para REX-1, 8 homocigotos resistentes y 5 susceptibles. El método estadístico de Ji-cuadrada no permitió determinar diferencias significativas con la proporción esperada de 1:2:1 ($\chi^2 = 1.541$, $p=0.46$).

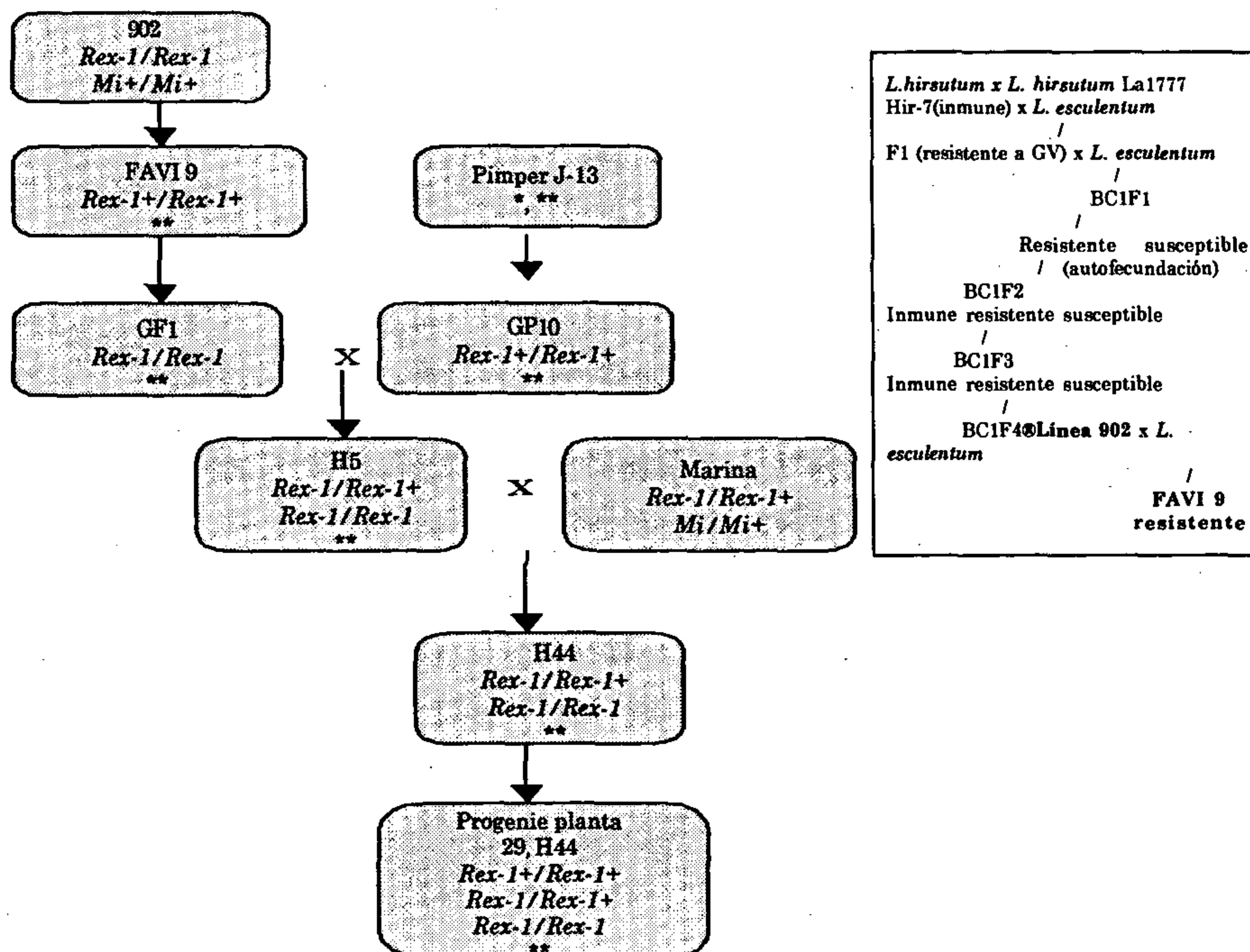


Figura 3. Árbol genealógico del híbrido H44 y de la línea 902. Todos los materiales han sido evaluados en la Unidad de Riego Sansirisay a excepción de la línea 902 (Recuadro tomado de Vidavsky y Czosnek, 2004).

* genotipo REX-1 desconocido

** genotipo Mi desconocido

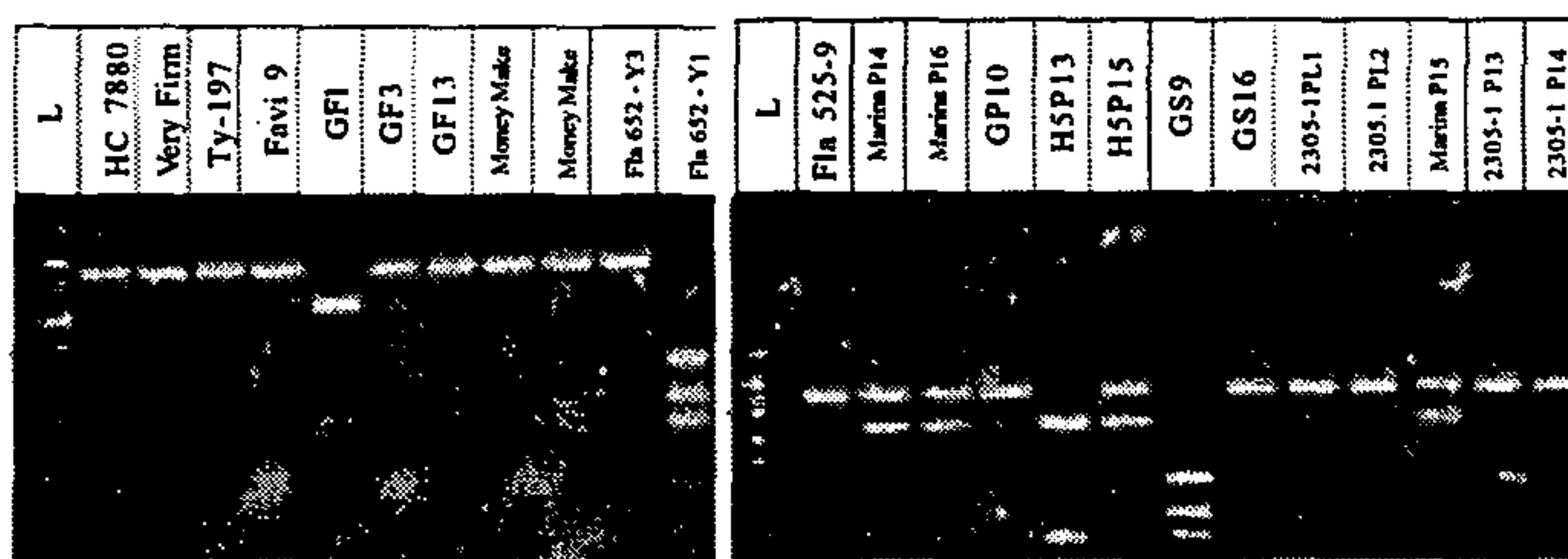
Genotipo REX-1 de cultivares, híbridos, líneas y variedades de diferentes procedencias

Los materiales en esta sección fueron incluidos en el estudio debido a que presentan características agronómicas favorables como el rendimiento, resistencia a altas temperaturas o la forma del fruto que requiere el mercado local, mientras que otros presentan resistencia contra geminivirus de diferentes fuentes de especies silvestres. Todas fueron evaluadas con el marcador PCR REX-1. El híbrido 2305-1, los cultivares Sun Coast, Rodade, Very Firm, Lignon y M-82 así como las líneas Ty- 197 y Ty- 198 resultaron susceptibles para el marcador (tabla 3). Para las dos últimas se ha encontrado

que presentan resistencia a geminivirus a partir de *L. peruvianum*, pero son susceptibles a la infección por nematodos¹ confirmando los resultados del marcador. Se evaluaron además dos variedades, una registrada como resistente a nemátodos (Money Maker 5) y una registrada como susceptible (Money Maker 1). Ambas presentaron genotipo susceptible por lo que es probable que los datos de almacenamiento para Money Maker 5 estén equivocados (tabla 3).

Las líneas obtenidas de la Universidad de Florida derivan su resistencia a geminivirus de la especie silvestre *L. chilense*. De ellas, Fla 024623-y3, Fla 024524-5, y Fla 024525-9 presentan un genotipo REX-1 susceptible al igual que la línea GS16 que fue seleccionada dentro del programa de mejoramiento de la URS por su resistencia promedio. En relación a las líneas Fla 024652-y1 y GS9 amplificaron ambas, 3 bandas de 320, 230 y 160 pb que no corresponden a los tamaños esperados para el fragmento REX-1 (*REX-1_A*), por lo cual no pudo determinarse su genotipo para el marcador (tabla 3; figura 4). El mismo patrón de bandas fue observado por D. Maxwell para las líneas GS9 y Ty-52 por lo que es posible que este patrón de bandas sea específico para introgresiones de la especie silvestre *L. chilense* en el tomate cultivado (figura 4)(Maxwell D, 2004).

Figura 4.
La fotografía del gel de agarosa a la izquierda muestra el genotipo falso positivo homocigoto re-



sistente del parental GF1 del híbrido H44 y la línea Fla 024652-y1 que amplificó bandas de 320, 230 y 160 pb debidas posiblemente a introgresiones de *L. chilense*. El resto de materiales presentan un genotipo susceptible para el marcador. En la fotografía de la derecha se observa el patrón de bandas de la línea GS9, idéntico al de la línea Fla 024652-y1. También individuos homocigotos resistentes del híbrido H5.

1 Comunicación personal con el Dr. Moshe Lapidot (Centro Volcani, Israel) hecha por el Dr. Douglas Maxwell sobre la susceptibilidad a nematodos de las líneas desarrolladas por ese centro.

Análisis del alineamiento de las secuencias de nucleótidos del marcador REX-1 en cuatro líneas de tomate

Se usó el programa de Clustalw para alinear cuatro secuencias del marcador REX-1 correspondientes a las líneas de tomate cultivado Motelle, GF1, M-82 y TY52-R2. Dichas secuencias fueron proporcionadas por el Departamento de Patología Vegetal de la Universidad de Wisconsin en Madison (Maxwell D, 2004). Al compararlas y analizarlas se encontró que efectivamente las secuencias para Motelle y GF1 son idénticas aún cuando se sabe que la primera es resistente a nematodos y la segunda es susceptible. La línea Motelle porta una introgresión de *L. peruvianum* que incluye a REX-1, mientras que la línea GF1 porta una introgresión de *L. hirsutum* que le confiere resistencia a geminivirus y no existen registros en cuanto posibles introgresiones de *L. peruvianum* en ella.

La línea de *L. esculentum* M-82 no es resistente a geminivirus o nematodos y en el presente estudio esta línea resultó portadora del alelo susceptible del marcador REX-1 usando la técnica de PCR (tabla 3). La secuencia alineada de M-82 difiere de Motelle y GF1 en 10 nucleótidos y se considera posible que M-82 sea portadora de la región REX-1 de *L. esculentum*. Finalmente, la línea Ty52-R2 es resistente a geminivirus a

Tabla 3 Genotipo para el marcador REX-1 de otros cultivares, híbridos, líneas y variedades.

Híbridos, cultivares, Líneas y variedades	Genotipo Para REX-1	Institución donante
2305-1	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)	HUJI, Israel
Sun Coast	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)	HUJI, Israel
Rodade	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)	HUJI, Israel
Very Firm	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)	HUJI, Israel
M82	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)	HUJI, Israel
Ty-197	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)	Volcani, Israel
Ty-198	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)	Volcani, Israel
Money Maker 1	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)	Universidad de Wisconsin
Money Maker 5	Susceptible (<i>REX-1+/REX-1+</i>)	Universidad de Wisconsin

<i>Híbridos, cultivares, Líneas y variedades</i>	<i>Genotipo Para REX-1</i>	<i>Institución donante</i>
Fla 024525-9	Susceptible (<i>REX-1+ / REX-1+</i>)	Universidad de Florida
Fla 024623 y3	Susceptible (<i>REX-1+ / REX-1+</i>)	Universidad de Florida
Fla 024652-y1	<i>REX-1</i> , *	Universidad de Florida
Fla 024524-5	Susceptible (<i>REX-1+ / REX-1+</i>)	Universidad de Florida
GS9	<i>REX-1</i> , *	Universidad de Florida
GS16	Susceptible (<i>REX-1+ / REX-1+</i>)	Universidad de Florida
Lignon	Susceptible (<i>REX-1+ / REX-1+</i>)	Instituto de Investigaciones
		Hortícolas Liliana
		Dimitrova, Cuba

*Alelo para el marcador REX-1 que despliega tres bandas de 320, 230 y 160 pb.

partir de *L. chilense* y su secuencia difiere en 7 nucleótidos de Motelle y en 9 nucleótidos respecto de M-82. Esta línea fue evaluada para REX-1 por Maxwell (2004) utilizando la técnica de PCR y obtuvo los mismos tamaños de bandas (320, 230 y 160 pb) que en nuestro estudio se obtuvieron para la línea GS9 con la cual comparte el mismo origen y resistencia a geminivirus a partir de *L. chilense*.

Las evidencias indican que la secuencia de nucleótidos de REX-1 en estas cuatro líneas de tomate cultivado difieren de acuerdo con el origen silvestre de su introgresión. Es decir que las plantas que portan introgresiones de *L. chilense* presentan secuencias idénticas entre ellas para REX-1, pero son diferentes (en pocos nucleótidos) de las que portan introgresiones de otra especie silvestre. En cuanto a Motelle y GF1 es posible que las secuencias de REX-1 para introgresiones de *L. hirsutum* y *L. peruvianum* sean idénticas o bien que GF1, aunque no existan registros sea portadora de introgresiones de *L. peruvianum* a partir de alguno de sus ancestros.

Utilidad de la técnica de PCR y factibilidad de implementarla como una prueba rutinaria

De acuerdo con los resultados obtenidos, puede afirmarse que es factible implementar el uso del marcador REX-1 para asistir regularmente la selección de plantas resistentes a nemátodos, pero no se recomienda en el caso

particular del programa de mejora genética de tomate de la Facultad de Agronomía, ya que el mismo está basado en las líneas derivadas de FAVI 9 y las líneas de la Universidad de Florida que pueden presentar respectivamente falsos positivos y patrones de bandeo diferentes a los esperados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gentra Systems. Genomic DNA purification kit instructions. pp 45-48.
2. Maxwell D. 2004. Gen de resistencia a nematodos, selección asistida por marcadores, el tomate y sus ancestros, sección 4 en Métodos moleculares para diagnóstico de patógenos y mejoramiento para resistencia en vegetales. Mejía L (ed.). Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala
3. Milligan SB, Bodeau J, Yaghoobi J, Kaloshian I, Zabel P, Williamson VM. 1998. The root-knot nematode resistance gene *Mi* from Tomato is a member of the leucine zipper, nucleotide binding, leucine-rich repeat family of plant genes. The Plant Cell. 10: 1307-1319.
4. Rodríguez R, Tabares JM, Medina JA. 2001. Cultivo moderno del tomate. 2 ed. España, Ediciones Mundi Prensa.
5. Rossi M, Goggin F, Milligan S, Kaloshian I, Ullman De, Williamson VM. 1998. The nematode resistance gene *Mi* of tomato confers resistance against the potato aphid. Proc, Natl. Acad. Sci. 95: 9750-9754.
6. Vidavsky F & Czosnek H. 2004. Mejoramiento del tomate para resistencia a enfermedades producidas por begomovirus en Guatemala, sección 4 en Métodos moleculares para diagnóstico de patógenos y mejoramiento para resistencia en vegetales. Mejía L (ed.). Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala
7. Vos P, Simons G, Jesse T, Wijbrandi J, Heinen L, Hogers R, Frijters A, Groenendijk J, Diergaarde P, Reijans M, Flerens-Onstenk J, de Both M, Peleman J, Liharska T, Hontelez J, Zabeau M. 1998. The tomato *Mi-1* gene confers resistance to both root-knot nematodes and potato aphids. Nature Biotechnology. 16: 1365-1369.
8. Williamson VM, Ho JY, Wu FF, Miller N, Kaloshian I. 1994. A PCR-based marker tightly linked to the nematode resistance gene, *Mi*, in tomato. Theor. Appl. Genet. 87:757-763.

ELEMENTOS PARA EL CULTIVO DE CALAHUALA *PHLEBODIUM* *PSEUDOAREUM* (CAV.) LELLINGER, UNA ESPECIE MEDICINAL

José Vicente Martínez Arévalo¹



INTRODUCCIÓN

La calahuala, *Phlebodium pseudoaureum*, es un helecho epifito que se desarrolla en Guatemala en bosques templados por arriba de los 1800 msnm. Se ha utilizado popularmente para tratar afecciones del reumatismo pero en los últimos estudios se ha demostrado su actividad como antioxidante y estimulador del sistema inmunológico, razón por la que actualmente varias formas farmacéuticas se están utilizando en el tratamiento de psoriasis y vitiligo. El interés por la utilización de su rizoma ha provocado que sea extraído de los bosques en forma irracional, a pesar de estar en la lista roja del Convenio sobre Comercio Internacional de Especies de Flora y Fauna Silvestre (CITES por sus siglas en inglés). Para contribuir con la conservación de estas especies se ha tomado como una estrategia, el desarrollo de su cultivo sustentable. Por tratarse de un helecho epifito que vive en lugares sombreados, las técnicas para su manejo requieren condiciones especiales, que permiten aplicar el conocimiento teórico de la ecología de poblaciones para conducir a una producción comercial.

Taxonomía y descripción botánica

Familia: *Polypodiaceae*

Nombre científico: *Phlebodium pseudoaureum* (Cav.) Lellinger.

Sinónimos: *Polypodium pseudoaureum* Cav.; *Goniophlebium areolatum* (Humb. et Bonpl. Ex Willd.) C. Presl.; *Phlebodium aureum* auct., en part (L.) J. Sm.; *Polypodium areolatum* Humb. et Bonpl. ex Willd.; *Polypodium areolatum* var. *loreum* J. Bommer; *Polypodium aureum* auct., en parte L.

Nombres comunes: Calahuala, calaguala.

Descripción botánica

Rizoma de 0.7-1.5 cm de ancho, generalmente farinoso; escamas 5-8 mm subenteras a moderadamente denticuladas, la harina blanca, las escamas concoloras, generalmente anaranjadas, no clatradas; hojas monomorfas, pinnatisectas, a menudo glaucas en el envés, articuladas al rizoma; con ápice atenuado, agudo o acuminado; pinnas de 10-33 x 1-3 cm, glabras en el envés, los márgenes engrosados y cartilagosos, enteros o casi enteros; nervaduras areoladas, las aréolas con o sin nérvulos incluidos; soros redondeados, sin parafisos, dispuestos en el ápice fusionado de 2 nérvulos incluidos, en 1-7 series entre la costa y el margen; esporas hialinas (Morán, 1995).

Es una especie epífita, ocasionalmente rupícula o terrestre. Perenne, con producción de frondas anualmente ya que al final de la época lluviosa se secan y caen.

Ecología

Originaria de América, distribuida en Florida, México, Mesoamérica, Colombia, Venezuela, Guayana, Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Paraguay, Argentina, Antillas. Crece en bosques mixtos húmedos, sobre árboles, en las partes donde se acumula materia orgánica. Aparentemente hay una sucesión en este microambiente, la cual es iniciada por especies epifitas de la familia *Bromeliaceae* que producen y acumulan suficiente materia orgánica para que luego crezcan otras especies entre ellas orquídeas y la calahuala. También se puede encontrar sobre paredones donde se acumula materia orgánica.

Se desarrolla en altitudes de 1,000-2,600 msnm. En algunas ocasiones podría encontrarse en altitudes más bajas condicionadas a características de sombra y humedad. Por arriba de los 2,600 se vuelve escasa y paulatinamente empiezan a aparecer otras especies y esta tiende a desaparecer. Precipitación de 1,000 a 3,000 mm anuales, temperatura 15 a 20 °C, se desarrolla mejor en porcentajes de sombra por arriba del 40%.

El análisis de los sustratos sobre los que crece la calahuala muestra un porcentaje de materia orgánica de 53 a 66%, con pH ácido a moderadamente ácido (3.9 a 5.3). Este tipo de sustrato es ideal para la siembra, sin embargo esto provoca mayor daño a los bosques por lo que para iniciar un cultivo se recomienda hacer camas con una mezcla de los siguientes materiales: tierra fértil, aserrín de madera de pino o ciprés, arena blanca; en las siguientes proporciones: 2:2:1, respectivamente.

Usos

Del extracto acuoso del rizoma de *P. leucatomos* se obtiene una saponina llamada anapsos, que está compuesta por un cetosteroide y una desoxihexosa,

que es utilizada para el tratamiento de dermatitis atópica, soriasis y vitíligo, también se le atribuye propiedades para la cura de la enfermedad de Alzheimer y artritis reumatoide (Rayward *et al.*, 1993).

Se ha demostrado actividad biológica que favorece la regeneración de tejidos afectados por las enfermedades mencionadas por medio de la capacidad de incrementar el número de linfocitos DC8 (citotóxicos/supresores). Los estudios aun son incompletos.

El rizoma de *P. pseudoaureum* contiene azúcar, aceite esencial, mucílago, almidón, nitrato de potasio y colorante rojo; además contiene calagualina, polipodina, aceites grasos y taninos, así como esteroides (ecdisterona y dos ecdisonas como la polipodaureina) (Cáceres, 1996).

El rizoma es vendido seco en manojos, se le utiliza popularmente para curar los dolores del reumatismo.

Para el tratamiento de psoriasis, eczemas, dermatosis, vitíligo y estados de disfunción inmune, se recomienda administrar tres veces al día en dosis de 1 cápsula de producto farmacéutico (Difur®, Armaya® o similar) antes de las comidas, 1-4 g/taza de decocción, 3-5 ml de tintura 1:10 en etanol 35% (Rayward *et al.* 1993; Cáceres, 1996). Por las mismas indicaciones puede aplicarse tópicamente, ya sea en forma de pomada o ungüento (Cáceres, 1996).

Elementos para su cultivo

Multiplicación por sexual

Se viene trabajo bastante en el tema de la propagación sexual ya que se ve como la solución para obtener suficientes plántulas para nuevas siembras y para enriquecimientos de bosque. Aunque hay otras formas de realizar esta propagación aquí se menciona la experiencia desarrollada en la Facultad de Agronomía, USAC.

De acuerdo con la experiencia acumulada de tres años de propagación a partir de soros en cultivo de tejidos, se sabe que para la iniciación y multiplicación se requiere de 20 semanas aproximadamente.

Para la iniciación y multiplicación se realizan los siguientes pasos.

Se obtienen soros maduros que aun contenga esporas. Se ha determinado que utilizando un medio con 25% de los componentes de Murashige y Skoog y una aplicación de ácido naftalenacético -ANA- a razón de 0.05 mg/l y 0.1 mg/l de bencilaminopurina, se obtiene producción de gametófitos (protalos) en un período de 60 días.

Para la diferenciación de hojas se ha utilizado un medio enriquecido con micro nutrientes en el que se producen frondas a las 8-12 semanas.

Por lo tanto se puede indicar que se necesitan de 16 a 20 semanas para obtener formación de frondas a partir de protalos.

Se puede obtener un mayor rendimiento de los protalos a través de aumentar la probabilidad de unión entre los órganos masculino y femenino (anteridios y arquegonios). Para esto se recomienda hacer un licuado (en una licuadora convencional, utilizando ciclos cortos), cuando se nota la aparición de los protalos y luego pasarlos a un medio enriquecido con micro nutrientes, en donde, después de tres meses, se produce una mayor diferenciación de frondas.

Los datos de aclimatación en laboratorio (previo traslado al campo) duran aproximadamente 60 días. En este proceso se toma en cuenta inicialmente, que existan plántulas de aproximadamente 2 cm (fronda más pecíolo). Es importante limpiar los restos del medio de cultivo, con ello se estará evitando la invasión de hongos de cualquier tipo. Se recomienda la desinfección del medio con un biocida preventivo de etiqueta verde. La aclimatación se inicia con la puesta de las siembras, *in vitro* (aun en frascos), a la radiación solar, esto durante una semana. Posteriormente se sacan y se limpia el agar que pueda estar adherido. Se colocan en sustrato desinfectado, para este caso se ha usado peat most. Las plántulas deben quedar dentro de un espacio cubierto con tela plástica transparente (simulando un invernadero), para evitar una exposición directa con el ambiente; luego esta tela plástica se va levantando paulatinamente, dejando como mínimo una semana entre cada nivel de exposición. Al final se pueden obtener las plántulas como se muestra en la Figura 1. Luego pueden ser llevadas las bandejas al campo donde se recomienda dejar quince días previo a la siembra. Cada plántula lista para el trasplante al terreno definitivo se ve como aparece en la Figura 2.

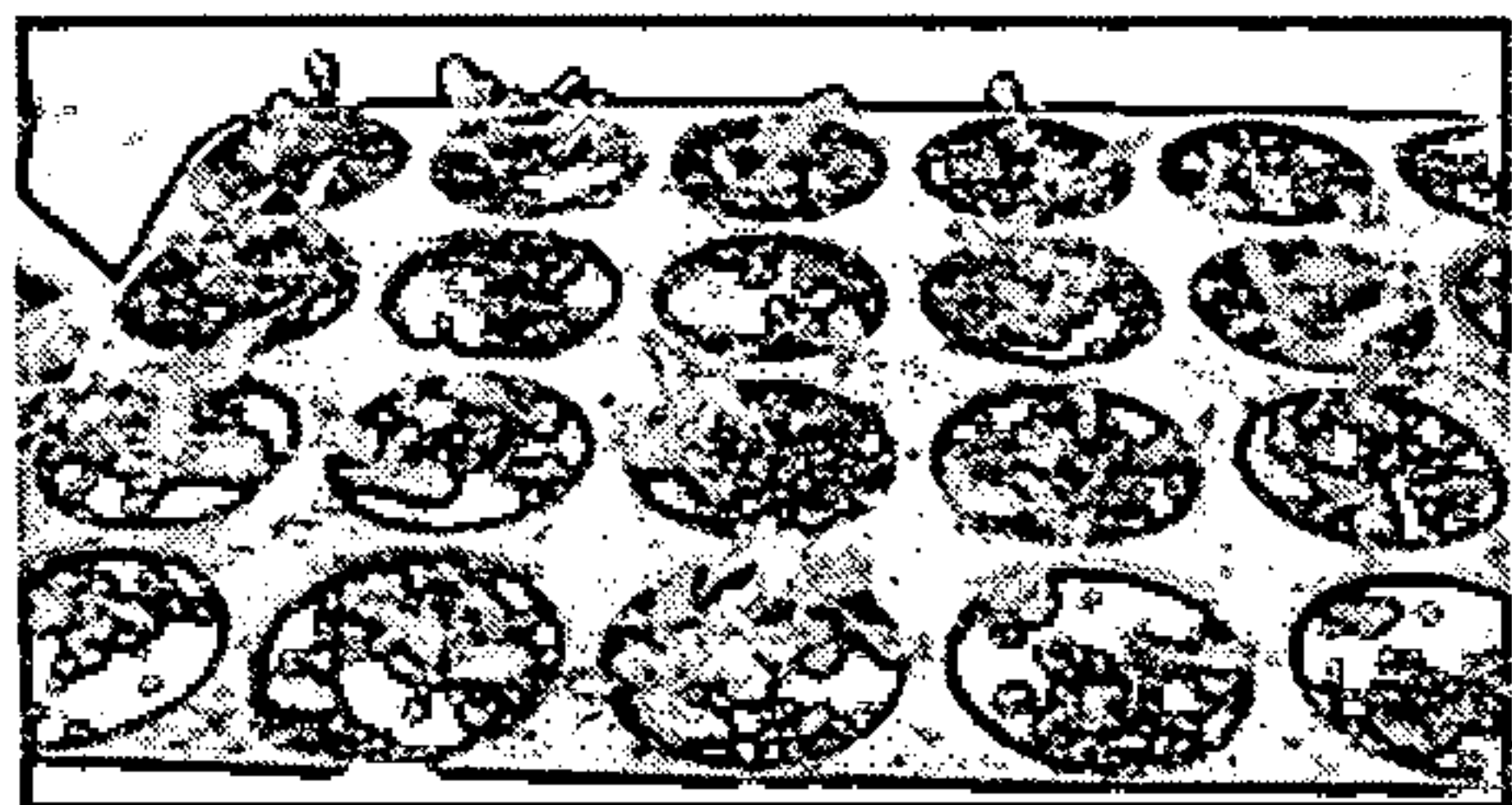


Figura 1. Plántulas de calahuala, colocadas en sustrato.

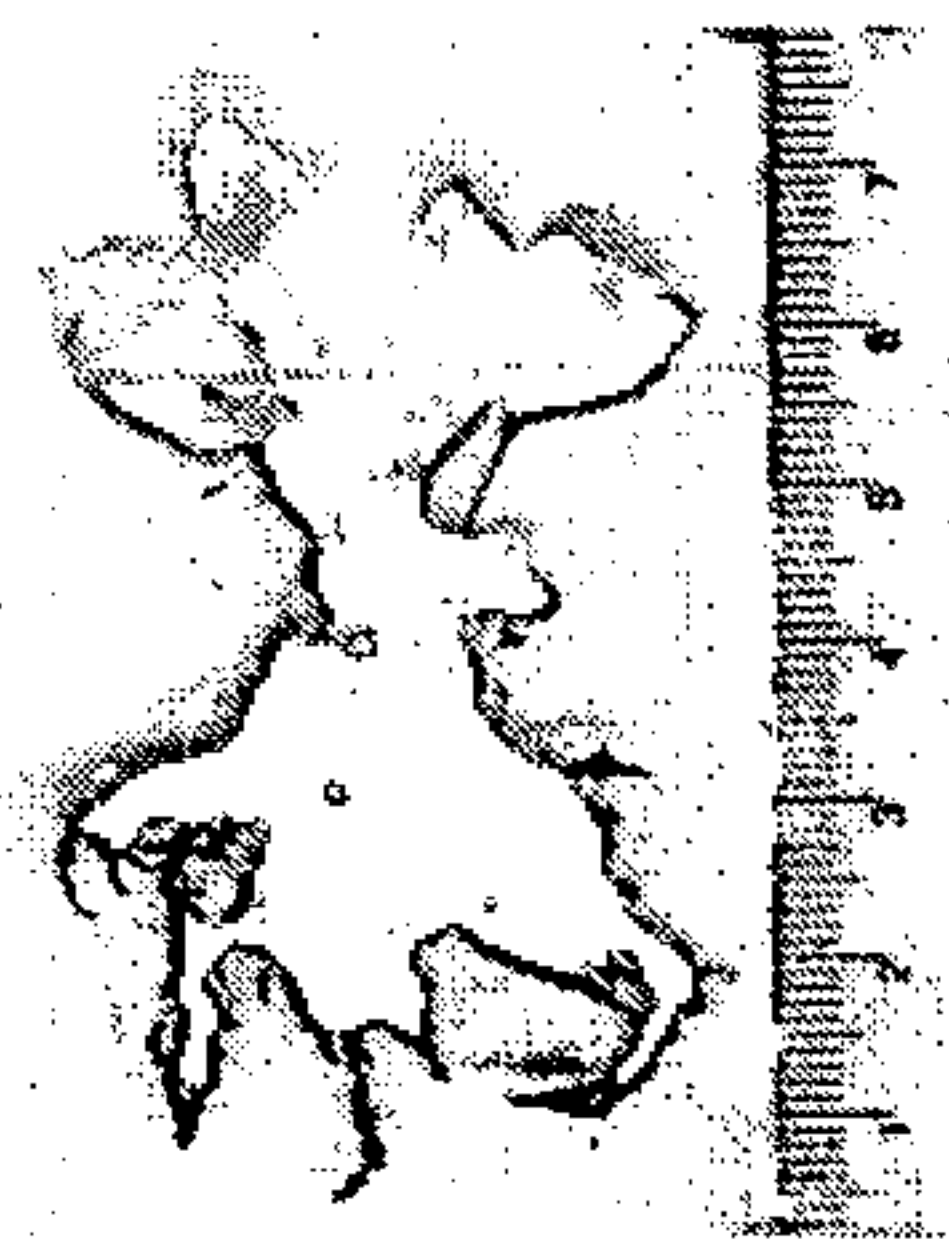


Figura 2. Plántulas de calahuala enraizadas.

Multiplicación asexual

En condiciones silvestres, el rizoma presenta un período de latencia de 2 a 3 meses, producto de la falta de lluvia, sin embargo con una provisión de riego este problema es superado. Se puede sembrar rizomas con frondas recién emergidas, pero en este caso las divisiones se deben hacer con mucho cuidado, para no dañar los nuevos brotes pues se quiebran con facilidad. También se ha notado que los brotes débiles son dañados por hongos del género *Rizoctonia*.

Para la obtención de rizomas de calidad para la siembra ya sea que provengan del bosque o de una cosecha previa, se recomienda seleccionarlos por su vigorosidad, peso, longitud, distanciamiento de yemas, (mayor distancia entre yemas significa que el rizoma está creciendo más rápidamente), turgencia y libres de pudriciones.

Para asegurar el establecimiento de una siembra de calahuala a partir de rizoma sin brotar, se debe utilizar porciones de más de 20 cm de largo. Los rizomas se colocan en el sustrato 2 meses antes que empiece la época lluviosa para que reciban luz y temperatura que necesitan para brotar con las primeras lluvias, tal como sucede en condición silvestre. Los rizomas se ubican en forma horizontal y se les cubre con una capa delgada de sustrato, de tal forma que algunas partes queden expuestas a la luz, lo que facilita su brotación.

Fertilización

Aun no se tiene información de los niveles de fertilizante que puedan aplicarse. En todo caso un plan de fertilización debe partir del análisis químico del sustrato que se utilizará, que indicará los elementos minerales que deben adicionarse. Debe tomarse en cuenta que en condiciones silvestres los sustratos son ricos en materia orgánica con baja mineralización y con un pH ácido.

Distancia de siembra

Por ser un helecho epifito, se recomienda cultivarlos sobre sustratos que asemejen el ambiente silvestre. Para esto se puede elaborar camas en el suelo de un metro de ancho y el largo requerido, en el fondo de estas se puede colocar piedras o madera y sobre esto una capa de sustrato de aproximadamente 10 cm. El sustrato puede estar compuesto de arena fina, desperdicios de madera o aserrín y suelo del lugar en proporciones 2:2:1.

En general se recomienda un distanciamiento de 25-35 cm al cuadro (Hoshizaki, 1979). Se prefiere sembrar más de un rizoma por postura, porque se ha observado que la brotación de frondas es muy escasa (1-2 por rizoma) y se pueden incrementar la densidad sembrando más de un rizoma.

Para la desinfección de los rizomas y de las frondas, se puede utilizar el fungicida biológico comercial SUBSOL 2X10¹⁰ SC (fungicida a base de la bacteria *Bacillus subtilis*). En dosis de 2% del fungicida biológico (20 cc de fungicida / litro de agua). Para realizar el tratamiento se hace la solución en un balde, y luego se colocan los rizomas por un lapso no menor de 5 minutos.

Labores de cultivo

Con sombra artificial se puede mantener el porcentaje de luz que necesitan los helechos para un adecuado desarrollo, esto se puede lograr con sarán de 60 a 80% (el porcentaje mas adecuado de sombra a utilizar aun es tema de investigación, pero las observaciones del lugar específico en cuanto a humedad y temperatura pueden ayudar para decidir cual usar). La sombra proporciona condiciones más húmedas que favorecen el desarrollo de estos helechos y además soportan mejor los periodos de sequía.

También se puede planificar una siembra bajo sombra natural, o sea procurar enriquecer bosques donde existan árboles adultos y sembrar bajo los mismos las plantas. Esto es una gran ventaja respecto a las opciones de sombra artificial, ya que aparte de ahorrar en el gasto de sarán, se está conservando los árboles mayores y se proporciona el ambiente natural que este helecho requiere.

Las especies arvenses (malezas) se tienen que tomar muy en cuenta para el cultivo de la calahuala, se presenta dificultad en su control por las siguientes razones:

1. Cuando se cultivan helechos, por lo general se utilizan camas o tablonés, en donde no se puede mecanizar los trabajos, por lo tanto las limpiezas deben ser manuales lo que aumenta el costo y tiempo.
2. Se dificulta utilizar productos químicos ya que para helechos no se tienen herbicidas específicos y la forma de crecimiento y del follaje dificulta la aplicación.
3. Los sustratos que se utilizan generalmente llevan consigo semillas de plantas que podrían presentarse como potenciales malezas; los musgos son un ejemplo.

Se recomienda colocar en las calles materiales que eviten el crecimiento de plantas no deseadas y dentro de las camas hacer limpiezas manuales.

Plagas y enfermedades

En los trabajos de campo se ha notado la presencia de varios agentes causantes de enfermedades en especial hongos. No se les puede dar aun el

calificativo de enfermedad, pero se debe estar atento y por lo tanto la descripción de los síntomas es útil para prevenirlos en casos de emergencia.

Se ha notado la presencia de hongos del género *Rhizoctonia* a los que hay que poner especial atención por la severidad que presenta en otros cultivos y que generalmente está asociado a otros patógenos del suelo como *Phytium* spp. y *Verticillium* spp.

Los síntomas por *Rhizoctonia* son ahorcamiento del pecíolo, acompañado de una necrosis en el mismo, las frondas se tornan de un color amarillo hasta que la base del pecíolo se desprende del rizoma ocasionando la muerte. Por lo general, acompañado a estos síntomas se presenta pudriciones marcadas por un aspecto aguanoso del rizoma y que se macera fácilmente cuando se presionada entre las manos.

El desarrollo de estos hongos es favorecido por una alta humedad relativa y un mal drenaje del suelo y/o sustrato. Especialmente daña en los estados tempranos de crecimiento de las frondas.

Su aparición se puede prevenir desinfectando los sustratos antes de la siembra por medio de agua caliente, solarizado o aplicando productos químicos contra hongos del suelo.

Se ha observado también la presencia del hongo *Pestalotia* spp. que ocasiona manchas foliares las cuales se distribuyen en la mayoría de las pinas de las frondas. Al cabo de un tiempo estas manchas se convierten en orificios, esto se produce porque la planta como forma de defensa mata las células alrededor de la infestación para que no pueda continuar su avance.

También se ha notado la presencia del hongo *Pleospora* spp. que ocasiona antrácnosis. Este síntoma corresponde a quemaduras que empiezan de la punta de las pinas y avanzan hacia la parte central de la fronda. No llega a matar al helecho y aparentemente hay tolerancia.

En el caso de insectos, únicamente se ha notado la presencia de trips que ocasionan agujeros pequeños en las frondas, pero la incidencia es bastante baja.

Cosecha

Cuando se va utilizar las frondas, la cosecha consiste en hacer un corte a ras del suelo, y luego hacer una selección eliminado material dañado.

Para obtener rizomas, se hace una separación estos del sustrato donde estaba sembrado, porque ha formado una masa compuesta principalmente de materia orgánica y raíces. Luego se lleva a cabo un lavado para eliminar la tierra, el cual debe ser profundo y con la ayuda de un cepillo.

Rendimiento

Los datos preliminares indican un rendimiento promedio de fronde en fresco 0.5-1.0 kg/m² por corte haciendo un estimado de 4 cortes por año y en peso seco de 0.1 kg/m², suponiendo una pérdida del 90% del peso. Rendimiento promedio de rizoma en fresco es de 1.8-2.9 kg/m² y en seco un promedio de 0.46 kg/m², suponiendo una pérdida de peso del 86%.

Manejo post cosecha

Los rizomas deben ser cuidadosamente lavados para eliminar residuos de sustrato. Se pica o se parte a lo largo y luego se seca en capas delgadas al sol o bien en un secador. El tiempo de secado es aproximadamente de una semana. Luego se colocan en sacos y se almacenan en lugar seco, fresco y a la sombra, para mantener su calidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade C., J.C. 2003. Búsqueda de sustratos alternativos para la producción bajo cultivo de calahuala de *Phlebodium aureum* L. Tesis Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 48 p.
- Cáceres, A.; L. Girón y V. Freire. 1990. Plantas de uso medicinal en Guatemala: 1. Detección etnobotánica y bibliográfica. Rev. Universidad de San Carlos. 9: 55-77.
- Cáceres, A. 1996. Plantas medicinales de Guatemala. Editorial Universitaria. Guatemala. 412 p.
- Girón, L. y A. Cáceres. 1996. Situación de la industria fitofarmacéutica de Guatemala. 1a. Reunión de la Coordinación Internacional del Subprograma X. Química Fina Farmacéutica de la Red Iberoamericana de Productos Fitofarmacéuticos. Guatemala. pp. 149-155.
- Gupta, M. P. (editor) 1995. Doscintas setenta Plantas Medicinales Iberoamericanas. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Subprograma de Química Fina Farmacéutica. Colombia. 617 p.
- Hoshizaki, J. B. 1979. Fern Growers Manual. Alfred. A. Knopf. New York. Pp 55-74.
- Jones, L. 1987. Encyclopedia of Ferns. Oregón, USA. Pp. 140-150.
- Martínez A., J.V. 2001. Estudio de caracterización *in situ* y manejo de poblaciones del complejo calahuala (*Poypodium* spp.). Informe final de investigación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Programa de Recursos Naturales y Ambiente. 150 p.
- Morán, R. 1996. Polypodiaceae. En: Davidse, G.; Sousa, M. & Chater, A. (Eds.). Flora Mesoamericana. Vol 5. Universidad Nacional Autónoma de México, Missouri Botanical Garden y The Natural History Moseum. México p. 130-133.
- Rayward, J. ; V. G. Villarrubia; G. Sada y M. Alvarez-Mon. 1993. Aspectos inmunológicos del extracto de *Polopodium leucatomos*. Segundo Congreso Internacional de Respuesta Biológica Modificante. USA.
- Stolze, R. 1981. Ferns and Fern Allies of Guatemala. Flora of Guatemala. Fieldiana Botany 6(2): 374-377.

1. Ingeniero Agrónomo, Maestro en Ciencias, Catedrático de la Facultad de Agronomía. Coordinador del proyecto de plantas medicinales. josevm2000@yahoo.com

ESTIMACIÓN DE LA MUESTRA MÍNIMA DE AGRICULTORES PARA VALIDAR VARIEDADES MEJORADAS DE FRIJOL EN EL SURORIENTE DE GUATEMALA

Mamerto Reyes Hernández ¹



RESUMEN

Después de 30 años de usar el enfoque de investigación de sistemas agrícolas en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) de Guatemala, todavía quedan algunas preguntas relevantes sin respuesta sobre algunas de sus etapas, una de ellas es sobre cuál es el tamaño de muestra que se debe emplear en la validación de tecnología, el cual es relevante en la medición del potencial de adopción de una tecnología, ya que en hipótesis, la eficiencia de un estimador está relacionada directamente con el tamaño de muestra. En este trabajo se hace una exploración en este campo, para ello se utilizan dos metodologías alternativas para determinar el tamaño de muestra con un error de muestreo del 10%. Primero, con fórmulas de muestreo, y segundo, con modelos de regresión. Para ello se utilizan 21 tamaños muestrales replicados 5 veces, los tamaños muestrales oscilan entre 5 y 102 agricultores. La información empleada proviene de una muestra de 102 agricultores usada en 1984 para estudiar la adopción de variedades mejoradas de frijol en el suroriente de Guatemala. Los resultados apoyan la hipótesis de trabajo e indican que las muestras pequeñas sobrepasan el potencial de adopción. Por otro lado, las muestras determinadas con fórmulas de muestreo son 23 veces más grandes que las determinadas con las regresiones. Se concluye que para la validación de variedades, el tamaño de muestra debe ser como mínimo de 30 agricultores, un tamaño que se encuentran justo en la frontera donde comienzan los tamaños de las muestras grandes.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes y el problema de investigación

En Guatemala, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) es el ente público dedicado a la investigación agrícola y promoción de la tecnología agropecuaria. Para atender su mandato, el ICTA ha desarrollado un sistema de investigación que considera varias etapas que van desde el diagnóstico de los problemas que restringen la eficiencia productiva de los agricultores hasta la validación de alternativas tecnológicas. La investigación se inicia en campo de agricultores con el diagnóstico de los problemas, continúa en las estaciones experimentales del instituto, luego experimentando en campos de agricultores donde se seleccionan las alternativas que se consideren promisorias para resolver los problemas que originaron la investigación. En la siguiente etapa, éstas alternativas de solución se validan con agricultores. En este proceso, los propios agricultores evalúan las tecnologías propuestas. Si en la validación se determina que una tecnología se adapta apropiadamente a las condiciones de los agricultores y presenta un alto potencial de adopción, debe ser elevada a la etapa de transferencia, en la cual se pone a disposición del universo de agricultores de una región. Mayores detalles sobre el sistema tecnológico del ICTA se encuentran en Castillo (1982).

Como puede apreciarse, un rasgo que sobresale en el sistema tecnológico del ICTA es la participación de los agricultores en casi todas las etapas de investigación. En unas son proveedores de información sobre la problemática de los sistemas de producción, en otras proveen sus terrenos para la conducción de ensayos y algunos criterios para la selección de tecnologías, y en otras, ellos mismos evalúan la tecnología generada. Esta última etapa se conoce como Parcelas de Prueba y en ella, bajo su propia responsabilidad y recursos, el agricultor evalúa la tecnología desarrollada comparándola con su sistema de manejo tradicional. Por esta razón, la parcela de prueba constituye un mecanismo de control de la tecnología y con ella se determina si una tecnología mantiene sus bondades bajo condiciones de los agricultores.

Por otra parte, con las parcelas de prueba se mide el potencial de adopción de una tecnología. Esto se hace un ciclo de cultivo posterior a la conducción de estas parcelas, en este caso se evalúa si los agricultores han adoptado la tecnología considerada en las parcelas de prueba.

Para medir el potencial de adopción de una tecnología, el sistema tecnológico no posee ninguna recomendación sobre el tamaño mínimo de muestra que se debería utilizar en la validación. Simplemente se asume que conduciendo las parcelas con agricultores representativos de las zonas de estudio, la valida-

ción producirá los resultados esperados, lo cual puede ser correcto desde una perspectiva agrobiológica, pues la evaluación de la tecnología en unos pocos sitios claves de las zonas de estudio puede ser suficiente para determinar si las bondades agrobiológicas de la tecnología se mantienen bajo condiciones de los agricultores, pero resulta insuficiente para determinar el potencial de adopción que dicha tecnología tenga, ya que las decisiones de adopción también se encuentran relacionadas con atributos socioeconómicos propios del agricultor y su familia, y no solamente con las variables agroecológicas que definen los sitios de evaluación o con las que identifican a la tecnología.

En ausencia de esta información clave, en este trabajo se hace una exploración en el tema del tamaño mínimo de muestra para ejercicios de validación de tecnología. Se toma el caso de la validación de variedades mejoradas de frijol en el Suroriente de Guatemala y como objetivo normativo se busca determinar cuantas parcelas de prueba se deben establecer para inferir eficientemente el potencial de adopción de dichas variedades.

MEDICIÓN DEL POTENCIAL DE ADOPCIÓN

Dentro del sistema tecnológico del ICTA, el potencial de adopción de una tecnología se conoce como "aceptabilidad" y se determina con los agricultores que participaron en la conducción de las parcelas de prueba, haciendo una encuesta un ciclo de cultivo posterior a estas parcelas. En esta encuesta se investiga si los agricultores han adoptado o no la tecnología que evaluaron en las parcelas y las razones que apoyan su decisión. En algunas oportunidades, cuando el tamaño de muestra lo ha permitido se han estudiado los factores que afectan la adopción de la tecnología (Reyes Hernández, 1985; García Raymundo, 1989).

Los indicadores que se utilizan para medir la aceptabilidad son el porcentaje de agricultores que están utilizando la tecnología y el por ciento del área del cultivo para el que se generó la tecnología donde se está utilizando la tecnología evaluada. Estos porcentajes se calculan de la muestra de agricultores que participaron en la validación.

Buscando enriquecer el análisis de la aceptabilidad se desarrollaron algunos índices, los cuales se estimaron con los porcentajes de agricultores y área con la tecnología. Inicialmente éste indicador resultaba de multiplicar los porcentajes estimados. Reyes Hernández (1982) desarrolló otro índice que era una media armónica de los porcentajes. En ambos índices se asumía que una tecnología tenía una mayor aceptabilidad en la medida que el índice se acercaba a la unidad, y no presentaba ningún problema de interpretación en los casos en que los porcentajes de agricultores y área tenían magnitudes similares.

Sin embargo, si existían problemas cuando los porcentajes eran muy diferentes en sus magnitudes, que era el caso general, por lo que cayeron en desuso.

A la par del desarrollo de los índices, se diseñó otro concepto, este fue el de Efecto Multiplicador, el cual identificaba la cantidad de adoptantes que una parcela de prueba podía conseguir (Reyes Hernández, 1985), que luego fue utilizado en estudios de adopción para determinar la adopción inducida con las parcelas de transferencia y de semilla artesanal (Reyes Hernández y García Raymundo, 1990).

Por las debilidades de los índices de aceptabilidad desarrollados, la mejor medida de la aceptabilidad es la pareja de porcentajes de agricultores y área con la tecnología evaluada, y por tal razón, estos porcentajes deben estimarse eficientemente, para lo cual es necesario tener el tamaño de muestra apropiado.

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL

Existen muchas maneras para determinar el tamaño de una muestra. Todas requieren conocer la magnitud de la variabilidad de la distribución de alguno de los descriptores de la población bajo estudio. Para proporciones, como la proporción de adoptantes de una tecnología o de la proporción del área de cultivo con una tecnología, la fórmula más sencilla es aquella desarrollada a partir del error de muestreo, el cual se estima

$$d = 1.96 \cdot Sp \quad (1)$$

en donde:

d error de muestreo;

1.96 valor de Z al 95% de confianza;

Sp error estándar de la proporción;

n tamaño muestral

como el error estándar de la proporción se estima,

$$Sp = [P(1-P)/n]^{1/2} \quad (2)$$

donde, P es la proporción de la existencia de un atributo X en la población, sustituyendo (2) en (1) y despejando para "n", se tiene

$$n = P(1-P) [1.96/d]^2 \quad (3)$$

que es la fórmula para estimar el tamaño de muestra cuando se desconoce el tamaño de la población, pero si se dispone de información sobre la proporción en que existe un atributo y se desea tener un grado determinado de precisión.

Por otro lado, para el caso en que se conoce el tamaño de la población y se conoce la proporción en que existe un atributo en ella, en Yamane (1981) se presenta la siguiente fórmula.

$$n = N Z^2 p q / (Nd^2 + Z^2 pq) \dots\dots\dots(4)$$

en donde:

N tamaño de la población;

Z Valor de Z de las tablas de la curva normal a un nivel de probabilidad;

p proporción de la existencia de un atributo X en la población;

q proporción de la ausencia de un atributo X en la población;

d precisión relativa (es lo mismo que error de muestreo).

En las dos fórmulas, el conocimiento de la proporción en que existe un atributo en una población es una variable esencial. Sin embargo, si no se tiene disponible, no constituye una restricción seria, pues esta proporción puede establecerse con un pre-muestreo.

METODOLOGÍA

Los datos

Para realizar el análisis se dispuso de una muestra de 102 agricultores de los departamentos de Jutiapa y Jalapa, en el Suroriente de Guatemala. Esta información fue colectada por Viana Ruano (1985) en 1984 y fue tomada de todos los agricultores que participaron en un ejercicio de transferencia de variedades mejoradas de frijol conducido en 1983 en una actividad en convenio entre el ICTA, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y la hoy desaparecida Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA).

Análisis

Para determinar un tamaño óptimo de muestra, de la muestra de 102 agricultores se tomaron cinco muestras aleatorias de 5 elementos muestrales, luego cinco muestras de 10 elementos muestrales, después cinco muestras de 15 elementos muestrales, y así sucesivamente hasta llegar a cinco muestras aleatorias de 100 elementos muestrales. A cada conjunto de muestras del mismo tamaño, se le calcularon los valores promedio de las proporciones y sus varianzas. Este procedimiento produjo una serie de veinte registros de tamaños de muestra, proporciones promedio y varianzas. Luego, adicionando los estimadores logrados con la muestra original de 102 agricultores, se obtuvo una serie de 21 registros en total. Estos se presentan en los cuadros A-1 y A-2 del anexo.

Al graficar las proporciones medias y los tamaños muestrales, se observó que siguen un patrón descendente hacia un valor mínimo. No es el caso de una curva con concavidad hacia arriba que muestre un mínimo, sino el de

una que tiende hacia abajo hacia un valor mínimo asintótico. Este patrón se presenta en las figuras 1 y 2 en el inciso de resultados.

Para identificar el tamaño "óptimo" de muestra se siguieron dos enfoques alternativos. Uno fue a través de regresión y el otro por medio de la fórmula de muestreo cuando se conoce la proporción y se desconoce el tamaño de la población.

ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Ajuste con mínimos cuadrados ordinarios

Como las masas de datos de las proporciones de agricultores y área de frijol con las variedades mejoradas, siguen un patrón similar al de la hipérbola (pero en el cuadrante positivo), las regresiones ajustadas siguieron la especificación que se presenta a continuación:

$$P_i = \beta_0 + \beta_1 (1/n_i) + \varepsilon_i \dots\dots\dots(5)$$

en donde:

P proporción promedio con el atributo de aceptabilidad (agricultores con las variedades mejoradas o área de frijol con las variedades mejoradas);

n tamaño de muestra;

β_0, β_1 parámetros a estimar;

e error aleatorio;

$i= 5, 10, 15, \dots, 101$ identifica los i -ésimos tamaños muestrales

La ecuación (5) se fundamenta en los supuestos clásicos de normalidad, media cero [$E(\varepsilon_i) = 0$], homocedasticidad [$E(\varepsilon_i^2) = s^2$] y ausencia de autocorrelación [$E(e_i e_j) = 0$ para todo $i \neq j$]. Para el ajuste de (5) se utilizó el enfoque de mínimos cuadrados ordinarios, el método estándar de ajuste de ecuaciones de regresión.

Cabe indicar que en esta especificación de modelo, el intercepto representa el valor del parámetro poblacional hacia el cual tienden los estimadores en la medida que aumenta el tamaño de muestra.

DETERMINACIÓN DE LA HETEROCEDASTICIDAD

En el análisis gráfico de la información se encontró que del mismo modo que las proporciones medias, las varianzas muestran un patrón de relación definido con el tamaño de muestra. Por un lado, las varianzas de la proporción de agricultores con variedades mejoradas de frijol muestran un patrón creciente hacia un valor asintótico, y por otro lado, las varianzas de la proporción del área de frijol con variedades mejoradas siguen un patrón descen-

dente hacia un valor asintótico (figuras A-1 y A-2 del anexo). Aunque cabe indicar que la oscilación de las varianzas es pequeña, va de 0.1600 a 0.2194 para las varianzas de la proporción de agricultores con variedades mejoradas de frijol y de 0.2328 a 0.2485 para las de la proporción del área de frijol con variedades mejoradas.

Aún cuando la oscilación de los valores que toman las varianzas es pequeña, la existencia de relaciones definidas entre éstas y los tamaños de muestra sugiere la existencia de heterocedasticidad en los modelos (5). Para probar esta hipótesis se utilizó la prueba de Park (Gujarati, 1982). En esta prueba se parte de la relación:

$$\sigma_i^2 = s^2 X_i \delta e^{v_i}, \dots\dots\dots(7)$$

en donde:

- σ^2 varianza
- X variable explicativa
- δ parámetro a estimar
- e base de los logaritmos naturales
- v error aleatorio
- i i-ésima observación en la serie de datos

Para el ajuste de (7) es necesario linealizarla con logaritmos naturales, con lo que se tiene,

$$\text{LN}(\sigma_i^2) = \text{LN}(\sigma^2) + \delta \text{LN}(X_i) + v_i \dots\dots\dots(8)$$

se dice que existe heterocedasticidad si δ es significativamente diferente de cero.

CORRECCIÓN DE LA HETEROCEDASTICIDAD

Para corregir los efectos de la heterocedasticidad en los modelos (5) ajustados con mínimos cuadrados ordinarios, se utilizó el enfoque de los mínimos cuadrados ponderados, la cual es la técnica sugerida en la literatura para resolver la ausencia de homocedasticidad en los casos en que se dispone de estimaciones de las varianzas para cada nivel de la variable explicativa (Gujarati, 1982; Kmenta, 1985), algo que se satisface en nuestro caso.

Usando mínimos cuadrados ponderados, la función de suma de cuadrados del error del modelo (5) es,

$$Q = \sum W_i \epsilon_i^2 = \sum W_i [Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i]^2 \dots\dots\dots(7)$$

en donde:

- $W_i = 1/\sigma_i^2$
- $X_i = 1/n_i$
- σ_i^2 varianza en el n-ésimo tamaño muestral

por tanto, buscando la pareja de estimadores b_0^* y b_1^* , que minimizan la función de suma de cuadrados del error, esto es, tomando las primeras derivadas de (7) respecto a los estimadores e igualando a cero, se tiene el sistema de ecuaciones normales,

$$\sum W_i Y_i = \beta_0^* \sum W_i + \beta_1^* \sum W_i X_i \dots\dots\dots(8)$$

$$\sum W_i X_i Y_i = \beta_0^* \sum W_i X_i + \beta_1^* \sum W_i X_i^2 \dots\dots\dots(9)$$

que matricialmente se puede expresar,

$$[W(X'Y)] = [W(X'X)] B \dots\dots\dots(10)$$

en donde:

$$[W(X'Y)] = \begin{bmatrix} \sum W_i Y_i \\ \sum W_i X_i Y_i \end{bmatrix} ; [W(X'X)] = \begin{bmatrix} \sum W_i & \sum W_i X_i \\ \sum W_i X_i & \sum W_i X_i^2 \end{bmatrix} ; B = \begin{bmatrix} \beta_0^* \\ \beta_1^* \end{bmatrix}$$

de donde, se infiere que

$$B = [W(X'X)]^{-1} [W(X'Y)] \dots\dots\dots(11)$$

y la matriz de varianzas y covarianzas es,

$$[Var-Cov] = CME [W(X'X)]^{-1} \dots\dots\dots(12)$$

en donde, CME es el cuadrado medio del error del análisis de varianza de la regresión.

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Teniendo estimadas las ecuaciones, para determinar el tamaño de muestra se asumió que una precisión del 10% (error de muestreo) era la adecuada. Como parámetros poblacionales de las proporciones de aceptabilidad se tomaron los interceptos de los modelos y respecto a ellos se calcularon los errores de muestreo. El tamaño idóneo de muestra se tomó calculando la muestra que permite que los dos estimadores de las proporciones de aceptabilidad se encuentren cuando mucho un 10% por arriba de los interceptos.

APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE MUESTREO

Para estimar el tamaño de muestra se utilizó la fórmula (3) y para estimar el error estándar de las proporciones se tomaron las proporciones estimadas con la muestra total de 102 agricultores, ya que éstas, por el tamaño de muestra y por los resultados del análisis de regresión son las más cercanas a los parámetros poblacionales. Se consideró también un error de muestreo del 10%.

RESULTADOS

Resultados estadísticos

En el cuadro 1 se presentan los resultados obtenidos con la prueba de Park. Puede apreciarse que el tamaño de muestra tiene un efecto significati-

vo en la magnitud de las varianzas, en otras palabras, las proporciones de aceptabilidad tienen varianzas específicas para cada tamaño de muestra, lo cual rompe con el supuesto de homogeneidad de varianzas del análisis de regresión.

Debe resaltarse que la relevancia de la heterocedasticidad radica en que en presencia de ella, los errores estándar de los estimadores se subestiman con lo que se sobredimensiona la significancia de las variables, pues errores estándar de baja magnitud conducen a valores más altos de las razones de *t* de Student (Gujarati, 1982).

Cuadro 1. Modelos de regresión ajustados a las varianzas de los porcentajes de agricultores y de áreas de frijol con variedades mejoradas.

Modelo ajustado al logaritmo natural de la varianza de la proporción de agricultores con variedades mejoradas de frijol			
Variable e indicador	Regresor		Error Estándar
Intercepto	-1.85023**		0.04343
Logaritmo natural del tamaño de muestra (n)	0.07549**		0.01127
Coeficiente de determinación		0.70236	
Fc		44.83662**	
Modelo ajustado al logaritmo natural de la varianza de la pro- porción del área de frijol con variedades mejoradas			
Variable e indicador	Regresor		Error Estándar
Intercepto	-1.36532**		0.01171
Logaritmo natural del tamaño de muestra (n)	-0.01756**		0.00304
Coeficiente de determinación		0.63716	
Fc		33.36417**	

** significativo a un nivel del 1 % de probabilidad

En este estudio, además de predecir los porcentajes medios para cada nivel de tamaño de muestra, se busca determinar la magnitud de los parámetros poblacionales de aceptabilidad, lo cual se logra a través de los interceptos de las ecuaciones ajustadas, por lo que es necesario obtener modelos que no posean problemas de heterocedasticidad de manera que las *t* de Student sean concluyentes.

Como se indicó en la metodología, para resolver los problemas de heterocedasticidad que registraron los modelos ajustados con mínimos cuadrados ordinarios, se desarrollaron dos modelos con el enfoque de mínimos cuadrados ponderados, los cuales se presentan en los cuadros 2 y 3.

En estos cuadros se hace una comparación de los estimadores de los modelos ajustados para predecir las proporciones de agricultores y área de frijol con variedades mejoradas obtenidos con mínimos cuadrados ordinarios y mínimos cuadrados ponderados. Puede apreciarse que aun cuando la prueba de Park sugirió la existencia de heterocedasticidad, las magnitudes de los estimadores de las ecuaciones virtualmente no se modifican al cambiar el enfoque de ajuste de los modelos, así como tampoco lo hacen las conclusiones derivadas de las pruebas de t.

Cuadro 2. Modelos de regresión ajustados a las proporciones de agricultores con variedades mejoradas con los enfoques de mínimos cuadrados ordinarios y ponderados.

Variable e indicador	Ajustado con MCO		Ajustado con MCP	
	Regresor	Error Estándar	Regresor	Error Estándar
Intercepto	0.67660**	0.00254	0.67666**	0.00122
Tamaño de muestra (n)	0.65197**	0.04606	0.64977**	0.01966
Fc	200.3152**		189.1358719**	
Coefficiente de determinación	0.91337		0.91310	
Error estándar de estimación	0.00905		0.00927	

** significativo a un nivel menor al 1% de probabilidad

Cuadro 3. Modelos de regresión ajustados a las proporciones de áreas de frijol con variedades mejoradas con los enfoques de mínimos cuadrados ordinarios y ponderados

Variable e indicador	Ajustado con MCO		Ajustado con MCP	
	Regresor	Error Estándar	Regresor	Error Estándar
Intercepto	0.36953**	0.00379	0.36909**	0.00196
Tamaño de muestra	1.05739**	0.06876	1.06174**	0.03492
Fc	236.4448**		222.62004**	
Coefficiente de determinación	0.92562		0.92519	
Error estándar de estimación	0.01351		0.01384	

** significativo a un nivel menor al 1% de probabilidad

Por otro lado, se puede notar que los errores estándar se reducen en casi 50% al pasar mínimos cuadrados ordinarios a mínimos cuadrados ponderados, lo cual si es diferente a lo esperado ya que la expectativa eran errores estándar más grandes. Así también los coeficientes de determinación y los errores estándar de estimación se mantienen en magnitudes muy similares, y las pruebas de F indican que como relaciones globales, ambos modelos son significativamente explicativos de la respuesta al tamaño de muestra de las dos proporciones de aceptabilidad analizadas.

La ausencia de cambios relevantes en los estimadores, errores estándar, e indicadores de eficiencia predictiva puede deberse a que el rango de oscilación de las varianzas de las proporciones es sumamente pequeño.

Con base en los resultados presentados en los cuadros 2 y 3 puede sostenerse que las dos técnicas de ajuste utilizadas produjeron los mismos estimadores y que los modelos poseen la misma capacidad predictiva. Por otro lado, la reducción de los errores estándar de los estimadores de mínimos cuadrados ponderados indica que el modelo obtenido con mínimos cuadrados ordinarios carece de los problemas de la heterocedasticidad. En conclusión, para determinar el tamaño de muestra para validación de variedades mejoradas de frijol los cuatro modelos se pueden utilizar con la misma eficiencia, sin embargo, usaremos los ajustados con mínimos cuadrados ordinarios por la ligera superioridad que tienen en los coeficientes de determinación.

TAMAÑOS DE MUESTRA IDÓNEOS

En el cuadro 4 se presentan los tamaños de muestra estimados con los dos enfoques seguidos para este cometido. De acuerdo con las predicciones de la regresión, para estimar las proporciones de aceptabilidad con un error de muestreo del 10% por arriba del parámetro poblacional se necesita una muestra de 29 agricultores. Por otro lado, con la fórmula de muestreo este propósito se cumple con una muestra de 655 agricultores, algo que resulta casi 23 veces más grande que el tamaño muestral estimado con las regresiones.

De estos resultados se infiere que para la validación de variedades mejoradas de frijol (y seguramente de otras especies de cultivos) se necesitan muestras grandes. Un concepto que comienza con 30 elementos muestrales. Con muestras pequeñas, como pudo apreciarse en este trabajo, las proporciones de aceptabilidad se sobredimensionan, sobrevaluando el potencial de adopción de las variedades, más cuando ésta se percibe desde la perspectiva de la superficie sembrada con las variedades.

Cuadro 4. Tamaños de muestra para estimar las proporciones de aceptabilidad de variedades mejoradas de frijol

Enfoque/proporción a estimar	Tamaño de muestra
Regresión:	
Proporción de agricultores con variedades mejoradas de frijol	9.65 $\approx$ 10
Proporción del área de frijol con variedades mejoradas	28.62 $\approx$ 29
Fórmula de muestreo:	
Proporción de agricultores con variedades mejoradas de frijol	183.62 $\approx$ 184
Proporción del área de frijol con variedades mejoradas	655.44 $\approx$ 655

CONCLUSIONES

De acuerdo con la relación que guardan las proporciones de aceptabilidad y el tamaño muestral, una muestra que permitiría ubicarse 10% por arriba de los parámetros poblacionales de aceptabilidad es de 29 agricultores. Mientras que si ésta muestra se estima con la fórmula de muestreo, asciende a 655 agricultores.

De acuerdo con el patrón que siguió la aceptabilidad de variedades mejoradas de frijol en respuesta al tamaño muestral, se tiene que una muestra de 655 agricultores resulta demasiado grande para la determinación del potencial de adopción de las variedades, y en términos de costo, podría resultar 23 veces más cara que una de 29 agricultores que es igualmente eficiente para estimar los parámetros poblacionales de aceptabilidad.

IMPLICACIONES

Una implicación, quizás demasiado obvia, es que para validación de variedades se debe utilizar una muestra que por lo menos se encuentre en el límite inferior de las muestras grandes, es decir, que sea de 30 agricultores.

Por otra parte, el uso de 30 parcelas de prueba para la validación de variedades de frijol significa una cantidad particular de recursos que debe estar prevista para este propósito. Esto cubre tiempo de los investigadores, combustibles, viáticos y suministros varios, tanto de los responsables del

seguimiento a las parcelas como de los responsables de medir el potencial de adopción de las variedades. Además requiere recursos para producir la semilla que se usará en las actividades de validación, estos comprenden toda una gama que cubre jornales, agroquímicos, combustibles para la preparación del terreno, tiempo del investigador responsable y otros. En este sentido, la determinación del tamaño mínimo de muestra para validación constituye un factor clave para el proceso de asignación de recursos a la validación de variedades que hasta el momento no se ha tenido disponible.

REFERENCIAS

- CASTILLO, L. M. (1982) "El sistema tecnológico del ICTA" in Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Número I (enero-junio): 1-10.
- GARCÍA RAYMUNDO, SANTOS (1989) Estudio de Adopción de la Variedad de Frijol Arbustivo ICTA Quinack Ché, Chimaltenango, 1988. Chimaltenango, SER/ICTA.
- GUJARATI, D. (1982) Econometría Básica. Traducción del inglés de J. M. Mesa. México, Libros Mc Graw-Hill de México.
- KMENTA, J. (1985) Elementos de Econometría. 2ª reedición de la 2ª edición en español. Traducción del inglés de M. Peñalver. Barcelona, España, Vicens-Universidad.
- REYES HERNÁNDEZ, M. (1982) Evaluación del Impacto de la Tecnología Generada por el ICTA para el Cultivo de Maíz en el Parcelamiento La Máquina. Una Evaluación de Adopción de Tecnología. Guatemala, SER/ICTA.
- REYES HERNANDEZ, M. (1985) Factores que Inciden en los Agricultores en la Adopción de Semillas Mejoradas de Ajonjolí: Un Análisis de los Factores Favorables y Limitantes. Tesis de Licenciado en Economía. Guatemala, Universidad de San Carlos.
- REYES HERNÁNDEZ, M. y S. GARCÍA RAYMUNDO (1990) La Adopción de la Tecnología Transferida a través del PROGETTAPS para los Cultivos de Maíz, Frijol Arbustivo, Trigo, Papa, y Crucíferas: una Evaluación de los Primeros dos años de Ejecución del Proyecto en Chimaltenango, Guatemala. Guatemala, SER/ICTA.
- VIANA RUANO, A. (1985) Factores que Inciden en los Agricultores para la Adopción de Semillas Mejoradas de Frijol en el Suroriente de Guatemala. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Guatemala, Universidad Rafael Landívar.
- YAMANE, T. (1981) Estadística. 3ª edición en español. Traducción del inglés de N. Cortado y N. Civetta. México, Harper & Row Latinoamericana.

A N E X O

Cuadro A-1. Tamaños de muestra y proporciones de agricultores con variedades mejoradas de frijol.

Tamaño de muestra	Proporciones muestrales					Proporción media	Varianza*
	P1	P2	P3	P4	P5		
5	0.60000	1.00000	0.80000	0.80000	0.80000	0.80000	0.16000
10	0.70000	1.00000	0.70000	0.70000	0.70000	0.76000	0.18240
15	0.66670	0.93330	0.60000	0.66670	0.73330	0.72000	0.20160
20	0.65000	0.80000	0.65000	0.70000	0.80000	0.72000	0.20160
25	0.64000	0.72000	0.72000	0.72000	0.72000	0.70400	0.20838
30	0.68000	0.66670	0.70000	0.70000	0.73330	0.69600	0.21158
35	0.68570	0.71430	0.68570	0.65710	0.68570	0.68570	0.21552
40	0.67500	0.70000	0.67500	0.65000	0.67500	0.67500	0.21938
45	0.66670	0.68890	0.68890	0.66670	0.68890	0.68002	0.21759
50	0.66000	0.66000	0.70000	0.68000	0.68000	0.67600	0.21902
55	0.65450	0.65450	0.72730	0.65450	0.70910	0.67998	0.21761
60	0.65000	0.68330	0.71670	0.68330	0.70000	0.68666	0.21516
65	0.66150	0.69230	0.70770	0.69230	0.67690	0.68614	0.21535
70	0.66710	0.70000	0.70000	0.68570	0.70000	0.69056	0.21369
75	0.66670	0.69330	0.69330	0.70670	0.69330	0.69066	0.21365
80	0.66250	0.68750	0.68750	0.71250	0.70000	0.69000	0.21390
85	0.67060	0.68240	0.69410	0.71760	0.70590	0.69412	0.21232
90	0.66670	0.67780	0.66670	0.71110	0.70000	0.68446	0.21597
95	0.67370	0.68420	0.68420	0.70530	0.70530	0.69054	0.21369
100	0.68000	0.68000	0.69000	0.69000	0.70000	0.68800	0.21466
102	0.68630	0.68630	0.68630	0.68630	0.68630	0.68630	0.21529

* Varianza = $P(1 - P)$

Cuadro A-2. Tamaños de muestra y proporciones del área de frijol con variedades mejoradas.

Tamaño de muestra	Proporciones muestrales					Proporción media	Varianza*
	P1	P2	P3	P4	P5		
5	0.93760	0.79300	0.24370	0.35130	0.62830	0.59078	0.24176
10	0.74670	0.44620	0.26780	0.31240	0.41130	0.43688	0.24602
15	0.73380	0.41250	0.20850	0.35790	0.59090	0.46072	0.24846
20	0.58350	0.38960	0.24370	0.31230	0.58470	0.42276	0.24403
25	0.51100	0.40520	0.27900	0.36810	0.50000	0.41266	0.24237
30	0.46970	0.37520	0.33770	0.34160	0.42840	0.39052	0.23801
35	0.55620	0.45930	0.33970	0.31430	0.41380	0.41666	0.24305
40	0.53600	0.44820	0.38840	0.34430	0.34460	0.41230	0.24231
45	0.52860	0.42160	0.36580	0.36540	0.34450	0.40518	0.24101
50	0.50400	0.38770	0.36600	0.37890	0.35120	0.39756	0.23951
55	0.45170	0.37690	0.39460	0.38560	0.36250	0.39426	0.23882
60	0.43730	0.41670	0.37960	0.37510	0.35760	0.39326	0.23861
65	0.40430	0.41300	0.35850	0.39960	0.33250	0.38158	0.23598
70	0.40280	0.36430	0.34240	0.38370	0.35060	0.36876	0.23278
75	0.38680	0.39670	0.35660	0.39510	0.35130	0.37730	0.23494
80	0.37870	0.40610	0.36040	0.40280	0.34380	0.37836	0.23520
85	0.37310	0.39800	0.36400	0.40820	0.33340	0.37534	0.23446
90	0.35840	0.39860	0.36230	0.39490	0.35420	0.37368	0.23404
95	0.35770	0.40080	0.36240	0.39210	0.38150	0.37890	0.23533
100	0.35390	0.38560	0.38580	0.38620	0.38720	0.37974	0.23554
102	0.38410	0.38410	0.38410	0.38410	0.38410	0.38410	0.23657

* Varianza = $P(1 - P)$

1. Licenciado en Economía por la Universidad de San Carlos (Guatemala) y Master en Economía Agrícola por el Colegio de Postgraduados (Texcoco, México). Actualmente Asociado de Investigación del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), Bárcena, Villa Nueva, Guatemala, C. A. E-mail: mrhdz@lycos.com

MEJORANDO EL PROCESO DE DISEÑO DE POLÍTICAS Y LA ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES EN EL CERRO TUNCAJ, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA

Boris Méndez Paiz¹



INTRODUCCIÓN

Promover el uso sostenible de los recursos naturales es el principal propósito de diversas instituciones gubernamentales alrededor del mundo. Alcanzar este propósito implica confrontar obstáculos de tipo económico, social y político. El termino sostenibilidad implica la búsqueda de esquemas de manejo de los recursos naturales con una base ecológica y económica sólida que deben sustentarse en marcos jurídicos e institucionales que sean socialmente aceptados.

En este artículo se aborda un problema de política relacionado con el uso de recursos naturales: las fallas del esquema actual de manejo de los recursos forestales, implementado por el Servicio Forestal de Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, (INAB) en el área conocida como Cerro Tuncaj, localizada en el altiplano central de Guatemala. En este lugar surgió un conflicto social serio que involucró a comunidades rurales locales, intermediarios del negocio de extracción de madera y propietarios privados de bosque, así como a gobiernos municipales del área, como resultado de los efectos negativos en la aplicación de las políticas gubernamentales en materia forestal. Como resultado de la crisis provocada por el problema, el Servicio Forestal decidió suspender la aplicación de sus políticas convencionales en el área. Mientras tanto, una evaluación de la situación de los recursos naturales y de la situación social fue realizada por un equipo de analistas independientes quienes realizaron una evaluación de la situación a petición del Servicio Forestal.

El propósito de este documento es el describir el problema, clarificarlo a través de su análisis, proveer una evaluación de alternativas para su solu-

ción, y finalmente recomendar la aplicación de la opción seleccionada producto del análisis.

El punto de vista del autor en referencia al problema fue originalmente el de un profesional de las ciencias naturales con tendencia hacia el planteamiento de soluciones estrictamente técnicas. En el proceso del análisis del problema, se aplicó el conocimiento obtenido de la ciencia política, lo que permitió la aplicación del enfoque de resolución de problemas de una manera más efectiva.

El autor asumió diferentes roles con respecto al problema: Colector de información (al examinar registros), entrevistador (reuniendo datos de los procesos social y de toma de decisiones), y finalmente también el rol de espectador al describir, interpretar y comunicar los hallazgos de la investigación. Este problema fue abordado inicialmente en el primer semestre del año 2000 a través de un trabajo de consultoría desarrollado por un equipo del que el autor formó parte. La consultoría fue requerida por INAB, el Servicio Forestal de Guatemala por medio del Programa de Manejo Forestal en Tierras Municipales y Comunales –BOSCOM–. Posteriormente, en 2003, el tema fue nuevamente abordado, esta vez aplicando las herramientas de la ciencia política en el curso Política y Administración de Recursos Naturales, en la Escuela Forestal y de Estudios Ambientales de la Universidad de Yale, en Estados Unidos, en la cual el autor realizó estudios de Maestría en Ciencia.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Contexto Social y Natural de Guatemala: Guatemala es el país más septentrional de Centroamérica, con una superficie de 109,117 km², una población estimada para 2002 en 11.98 millones, con una tasa anual de crecimiento de 2.9%. La densidad poblacional es de 110 habitantes/km². El PIB por persona es de 1,690 dólares de Estados Unidos por año (Banco Mundial, 2002).

La pobreza es el factor subyacente detrás de la mayor parte de problemas sociales y ambientales en Guatemala. De acuerdo a USAID, el 56% de la población del país vive en la pobreza. Aunque los porcentajes de pobreza han declinado en años recientes, los números absolutos continúan creciendo debido a que Guatemala posee uno de los más altos índices de crecimiento poblacional del continente. De esa cuenta, 6.4 millones de guatemaltecos están aun por debajo de la línea de pobreza. La pobreza es el resultado de profundas inequidades, con una brecha en la distribución del ingreso entre población urbana y rural que continúa ensanchándose. Solamente el 20% de los habitantes de las ciudades son considerados pobres, mientras en el interior el porcentaje se eleva hasta el 80%. Las áreas rurales poseen las tasas

más altas de mortalidad infantil y desnutrición, existiendo ahí limitado acceso a educación básica de calidad. La tasa nacional de analfabetismo es de 31%, pero llega al 52% en las mujeres del área rural (USAID página de Internet, 2003).

Guatemala sufrió uno de los más largos conflictos armados internos del continente. 36 años de agitación social afectó la economía debido a la inestabilidad y a la destrucción de la infraestructura productiva. La guerra también produjo enormes pérdidas humanas, expresadas en miles de muertos, heridos, refugiados y desplazados internos, además de la destrucción y debilitamiento de las instituciones de la sociedad civil debido al control del poder ejercido por regímenes autoritarios durante décadas.

En 1996 la guerra concluye formalmente con la firma de los Acuerdos de Paz entre las partes en conflicto, un gobierno electo democráticamente y la Unidad Revolucionaria Nacional Guatemalteca (URNG) que aglutinó a los distintos grupos armados rebeldes. Sin embargo, las cosas no han cambiado significativamente luego de la firma de los acuerdos; el diálogo y el uso de medios civilizados para resolver los problemas aún no son el patrón dominante en la sociedad guatemalteca, donde los esquemas autoritarios de ejercer el poder y la violencia en general han aumentado. El gran reto para los guatemaltecos hoy día es como reconstruir o rediseñar instituciones civiles que permitan crear una sociedad más incluyente y equilibrada a través de la práctica de la democracia a todo nivel.

Recursos Forestales: aun cuando Guatemala tiene una tasa estimada de deforestación de 80,000 hectáreas por año, el país aún posee un 25% de su superficie con cobertura forestal, de lo cual casi la totalidad está constituida por bosques naturales. La distribución por tipos de bosque varía en relación con la altitud, el tipo de suelo y las condiciones climáticas. Bosques de especies de hoja ancha de tipo tropical prevalecen en las tierras bajas del norte, mientras bosques de coníferas y mixtos (coníferas-hoja ancha con especies de clima templado) dominan el altiplano del país. Los bosques localizados en el altiplano de Guatemala juegan un papel crítico en la conservación de las cuencas hidrográficas, debido a su ubicación en la parte alta de la mayoría de cuencas, es decir en la zona de captación hídrica. La permanencia de estos bosques permitirá no sólo asegurar el abastecimiento y la calidad del agua sino también el mantenimiento de otros servicios ambientales vitales para el mejoramiento de las condiciones de vida de la sociedad guatemalteca.

Las tierras forestales en el altiplano están sometidas a una gran presión humana, debido a que es esta la parte con mayor densidad poblacional

del país. Estas presiones provienen de las comunidades rurales locales (quienes utilizan los recursos del bosque como fuente de abastecimiento de leña y madera para diversos propósitos, usualmente casi de tipo artesanal y no comercial) y de la industria de aserrio -la principal industria forestal del país- que demanda madera para uso industrial y genera un mercado para la venta de productos provenientes de estos bosques.

Tanto las comunidades locales como las principales ciudades de Guatemala localizadas en el altiplano (incluyendo la capital del país) dependen de estos bosques para garantizar su abastecimiento de agua. Esto explica la enorme preocupación que despierta el deterioro de los recursos hídricos debido al uso de prácticas inapropiadas en el manejo de los recursos naturales.

En particular, la preocupación surge cuando se implementan aprovechamientos del bosque empleando métodos intensivos como el de tala rasa, el cual consiste en la corta y extracción (o quema) de toda la masa boscosa para dar lugar al establecimiento de un nuevo rodal, usualmente por medio de plantación. La aplicación de este método se ha justificado debido a la degradación de los bosques naturales por la extracción sistemática y selectiva de los mejores individuos, lo que ha conducido a su degradación, además de otros factores como la ocurrencia frecuente de incendios, el pastoreo sin control, en pocas palabras, la ausencia de manejo sostenible de estos bosques.

Aunque el método de tala rasa es de relativa fácil aplicación si se le compara con otros métodos silviculturales, su ejecución acarrea varias desventajas, entre ellas: provoca un efecto visual negativo, conlleva casi siempre mayor pérdida de suelo y el riesgo de degradación de los recursos hídricos por contaminación. En Guatemala, tanto en áreas urbanas como rurales, fuera de los círculos técnicos, la población asocia la aplicación del método de tala rasa con destrucción del recurso forestal y más aun con el deterioro de los recursos hídricos. Aun cuando desde el punto de vista técnico-científico, esto pueda ser cuestionable, es una idea que está arraigada en la población y por tanto resulta muy difícil poder convencerla de lo contrario.

Zona del Cerro Tuncaj: el área conocida como *Cerro Tuncaj* está localizada en la parte central del altiplano Guatemalteco, aproximadamente 100 Km al norte del valle de la ciudad de Guatemala, capital del país. Esta zona incluye porciones de los departamentos de Quiché y Baja Verapaz, incluye una importante zona hidrológica que suple de agua a diferentes comunidades en cinco municipios: El Chol, Granados, Rabinal y Cubulco en Baja Verapaz, así como el municipio de Pachalum en el departamento de Quiché.

Treinta y cinco por ciento del área tiene cobertura forestal, 48% de las tierras están siendo utilizadas por arriba de su capacidad productiva (sobre utilizadas), es decir que el uso actual que tienen es inapropiado y está conduciendo a la degradación de la tierra. Agricultura, pastizales, arbustales y asentamientos humanos existen en sitios que idealmente debieran estar cubiertas de bosque, ya sea con fines de producción o de protección. Las prácticas de manejo forestal en bosques naturales en Guatemala requieren que los propietarios del bosque obtengan un permiso (licencia) emitido por el Servicio Forestal (INAB), sobre la base de una evaluación del potencial de la tierra y del bosque que conduzca a formular una propuesta para el manejo del bosque (Inventario y Plan de Manejo Forestal). Además, los propietarios deben cumplir con el pago de impuestos por el valor de la madera a aprovechar así como de una fianza que garantice el cumplimiento del compromiso de la recuperación de la masa boscosa a aprovechar. Más de cien permisos para la extracción de madera fueron otorgados por INAB en el área del Tuncaj durante el período 1997-2000, de los que el 95% fue para extracción de leña para uso doméstico y solamente un 5% de los permisos se utilizó para aprovechamiento comercial con fines industriales.

El conflicto surgió debido a que los permisos otorgados por INAB para extracción con fines comerciales (proyectos de aprovechamiento comercial de gran escala en algunas de las propiedades de mayor tamaño del área), lo cual es visto como ilegítimo por las comunidades rurales de la zona. La gente de estas comunidades impidió la extracción de madera para fines industriales, lo cual forzó (aunque ilegalmente) el establecimiento de una veda de la extracción de madera para fines comerciales en el área. Los habitantes de estas comunidades argumentan que la extracción comercial de madera (grandes volúmenes de madera extraída de fincas de mayor superficie y transportada para su venta fuera del área), provocara el deterioro de los recursos hídricos de la zona, los que son de importancia crítica para el sustento de estas comunidades. Adicionalmente, ellos no perciben ningún beneficio económico de las operaciones de extracción comercial de la madera, tales como empleo, ingresos o inversiones derivadas de esta actividad en sus comunidades. Los comunitarios no confían ni en las autoridades del Servicio Forestal de la zona (INAB) ni en las personas vinculadas al negocio de la madera.

Planteamiento provisional del objetivo y del problema: el conflicto de intereses en torno del uso de los recursos naturales en la zona entre las comunidades locales y los extractores madereros está desafiando (poniendo en tela de juicio) la política gubernamental vigente para el manejo de los bosques. El Servicio Forestal (INAB) necesita continuar siendo respetado

por la sociedad para poder alcanzar sus objetivos y metas de una manera efectiva. Si esto no se alcanza, el problema en el Cerro Tuncaj continuará e incluso puede empeorar, incrementando el riesgo de violencia. Adicionalmente, es posible que problemas similares surjan en otras partes del país debido a las fallas en el proceso político que se sigue para el manejo de los recursos forestales.

PROBLEMAS Y OBJETIVOS EN CONTEXTO

El Proceso Social (mapa del contexto)

Comunidades locales: *"la extracción de madera pone en riesgo el abastecimiento de agua para consumo local"*. Las comunidades rurales del área del Cerro Tuncaj tradicionalmente han utilizado los recursos forestales para satisfacer necesidades básicas tales como obtención de leña (para cocción de alimentos y calefacción), construcción de viviendas rústicas y cercas. La mayoría de personas de estas comunidades pueden definirse como campesinos o pequeños productores cuya producción agrícola es destinada principalmente para auto-consumo, y una reducida proporción excedente para la venta a manera de obtener efectivo para la compra de otros productos o servicios básicos. Ellos están conscientes que tanto la madera como otros productos del bosque pueden ser cosechados para satisfacer necesidades locales, pero encuentran inapropiado que empresas o contratistas extraigan la madera para propósitos comerciales, especialmente cuando se utilizan métodos de corta total del bosque (tala rasa). Los comunitarios perciben que estas operaciones provocan la disminución de los caudales de agua en ríos y acuíferos y por tanto amenazan la disponibilidad de agua de la que depende su sustento. Es posible que parte de la percepción que la cosecha de madera impactará necesariamente de forma negativa los recursos hídricos de la zona sea una reacción ante la forma cómo las empresas y contratistas de madera han operado en el área, donde usualmente éstos no acostumbran contratar personal local para sus operaciones ni tampoco invierten parte de los ingresos del negocio de la madera en el manejo del bosque o en infraestructura en la zona. En suma, las comunidades no perciben beneficios claros de la extracción maderera.

Las comunidades locales están *demandando* una mejor administración de los recursos naturales para evitar su agotamiento (tanto los bosques como los recursos hídricos) debido a que su deterioro afectará su *bienestar*. Las comunidades tienen la *expectativa* de ser incluidos en el proceso de toma de decisiones, es decir ser participantes activos de las políticas en el manejo de los recursos naturales. Estas comunidades se *identifican* con normas municipales o comunales no escritas para regular la extracción de madera

para leña y otros propósitos así como para el uso del agua; sin embargo ellos están dispuestos a obedecer las leyes formalmente establecidas en el contexto nacional siempre que éstas se perciban como justas y consideren sus necesidades particulares.

Las comunidades utilizaron una *estrategia diplomática* cuando intentaron negociar con la municipalidad local y los funcionarios del Servicio Forestal –INAB–, promoviendo el mejoramiento o la suspensión de las prácticas que se emplean actualmente para la extracción de madera para propósitos comerciales. Debido a que con esta estrategia no se logró persuadir al Servicio Forestal de continuar otorgando permisos y por tanto la extracción y transporte de madera fuera de la región continuó, ellos cambiaron su estrategia hacia una más agresiva, de carácter *militar*. Los habitantes de estas comunidades decidieron cerrar los caminos de acceso para impedir que los camiones madereros pudieran continuar la extracción de trozas fuera de la región, e incluso amenazaron con destruir estos camiones si los contratistas continuaban en su intento.

El conflicto surgió debido a que las comunidades percibieron que se les estaba privando en sus valores de *poder* (ellos cuestionan la forma en que el Servicio Forestal aplica la ley sin una consulta apropiada con ellos) y *respeto* (ellos sienten que merecen ser sujetos y no sólo objetos en el proceso de toma de decisiones). Ahora, en adición a buscar asegurar su *bienestar* (evitando el deterioro de los recursos hídricos), ellos persiguen además incrementar los valores de *poder* y *respeto*.

Como resultado de la crisis generada por la estrategia militar adoptada por las comunidades, las prácticas institucionales adoptadas por el Servicio Forestal para el manejo de los recursos forestales ha sido cuestionado. Se requieren innovaciones para lograr una política sostenible de administración de los recursos forestales en la zona; esta política debe realzar los valores de todos los participantes en el proceso, incluyendo a las comunidades locales.

Para las comunidades locales, las consecuencias de la aplicación de la política actual para el manejo de los recursos forestales en la zona del Cerro Tuncaj han sido una pérdida de bienestar y respeto. Esto produjo el efecto de una reducción de poder y por tanto influencia en la toma de decisiones para las comunidades.

Intermediarios de la madera y propietarios de tierra: “*el derecho de propiedad privada para cosechar y comercializar madera debe ser respetado debido a que estamos cumpliendo con todas las regulaciones establecidas en la ley forestal*”.

Los medianos y grandes propietarios de tierra de la región, en contraste con los campesinos y pequeños propietarios locales, usualmente son personas acaudaladas (con una posición económica cómoda), quienes usualmente viven fuera de la región. Como resultado, su perspectiva del manejo apropiado de los recursos naturales es diferente. De manera similar a los intermediarios de la madera (también usualmente personas de fuera de la región); los madereros y propietarios medianos y grandes ven en el bosque una fuente de ingresos monetarios en el corto plazo mediante la cosecha y venta de madera, dinero que puede ser invertido en otras actividades económicas y no necesariamente en el bosque o en infraestructura dentro de la región. Estos participantes tradicionalmente han utilizado un enfoque minero para el manejo forestal, es decir enfocando sus esfuerzos en la cosecha mas no en la regeneración y protección del bosque. La ley forestal actualmente, sin embargo, los obliga a cumplir con ciertos requerimientos para poder obtener permisos para cosecha de madera, incluyendo la formulación de una evaluación técnica del bosque y la tierra a ser explotada, el pago de impuesto por la madera y una fianza para asegurar el cumplimiento del compromiso de reforestar el área que se intervenga.

Este sector *cree en los derechos de propiedad privada y demanda* de las instituciones gubernamentales; la aplicación de la ley y apoyo que les permita continuar cosechando madera siempre y cuando ellos cumplan con los requerimientos legales establecidos. Claramente ellos apoyan las leyes debido a que estas sirven sus intereses. Ellos perciben que las preocupaciones planteadas por las comunidades locales afectarán negativamente su negocio.

Este grupo se siente *privado de riqueza* (se está afectando su patrimonio debido a que se dificulta obtener réditos con la venta de madera aun cuando están invirtiendo tiempo, dinero y energía en los trámites y otros requerimientos para obtener las licencias para aprovechar la madera) y *respeto* (ellos cumplen con las leyes formales escritas del país y por tanto merecen el apoyo del Servicio Forestal y otras organizaciones del gobierno para asegurar sus derechos).

Han venido utilizando una *estrategia diplomática* con el Servicio Forestal, tratando de asegurar licencias para continuar con sus operaciones. La *consecuencia* resultante para el grupo relacionado al negocio de la madera, como producto de la implementación de la política actual ha sido la pérdida de *bienestar y respeto* con un *efecto resultante* en la disminución de poder.

El Servicio Forestal: *"tenemos un compromiso con el manejo sostenible de los recursos forestales para el beneficio de todos los guatemaltecos"*.

El Servicio Forestal (INAB) es la entidad gubernamental a cargo de la implementación de la ley forestal. La ley provee regulaciones para el manejo de bosques naturales, como los existentes en el Cerro Tuncaj. En el área, la extracción de madera con fines comerciales, no ha sido una práctica común. Esta podría ser una de las razones por las que las comunidades temen un impacto negativo de la cosecha de madera. Las principales actividades que el Servicio Forestal realiza en la región son la emisión de licencias para el aprovechamiento maderero, principalmente para consumo familiar y la prevención y supresión de incendios forestales.

El Servicio Forestal identifica la promoción de “manejo forestal sostenible” como su principal propósito en cumplimiento de la ley forestal. Su *expectativa* es que más personas trabajen bajo el esquema establecido en la ley forestal y *demanda* que las personas cumplan con la ley.

La estrategia del Servicio Forestal no es clara, pero podría definirse como una combinación *ideológica, diplomática y militar*. En general ha sido una estrategia débil.

El Servicio Forestal utiliza los siguientes valores para alcanzar sus objetivos: *poder* (que deviene de la ley forestal), *ilustración* (cuenta con personal calificado técnicamente), *respeto* (es una organización relativamente nueva) y *rectitud* (promueve transparencia y ética). Estos valores pueden perderse si el problema no es resuelto apropiadamente.

El resultado de la crisis en el proceso de política para el Servicio Forestal es una pérdida de poder, rectitud y respeto.

Municipalidad local: “estamos dispuestos a proveer un espacio para el debate y la negociación entre las partes del conflicto y a jugar un papel más activo en la aplicación de regulaciones para el manejo de los recursos naturales”.

Las municipalidades constituyen el gobierno local electo por los ciudadanos de su jurisdicción. Usualmente las administraciones municipales conocen los problemas del área, pero su efectividad para abordarlos se ve reducida debido a sus limitadas capacidades de gestión y en muchos casos por corrupción. Existen al menos tres municipalidades que reconocen jurisdicción en el área del Cerro Tuncaj; La municipalidad de Granados, departamento de Baja Verapaz, es la más directamente involucrada en este problema debido a que las comunidades rurales y las fincas de las cuales se extrae la madera están localizadas en su jurisdicción. Aunque para el propósito de este documento, cuando se menciona municipalidad local, se hace referencia a la corporación de Granados, es importante considerar que para una solu-

ción exitosa del problema, el resto de municipalidades de la zona del Cerro Tuncaj deben ser involucradas de alguna manera.

El propósito de la municipalidad es el de propiciar el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes de su jurisdicción. En general, estas *demandan* el cumplimiento con las leyes y regulaciones del gobierno tanto nacional como local. Sin embargo, en este caso las municipalidades no tienen una posición clara, y como resultado no promueven de manera uniforme en la población la obediencia a las normas y regulaciones en este caso sobre el uso de los recursos forestales. Esto se debe a que en algunas de las municipalidades de la zona, los funcionarios municipales ven en la extracción de madera una actividad que potencialmente puede dañar tanto los recursos forestales como el abastecimiento de agua. Por tanto, ellos en esencia concuerdan con las comunidades en su perspectiva.

La municipalidad *espera* poder jugar el rol de facilitador del diálogo (*estrategia diplomática*) que permita evitar o abordar conflictos en la región. Las municipalidades se *identifican* con la asignación de poder a los gobiernos locales, lo que constituye una parte reconocida de la constitución nacional (las municipalidades tienen autonomía política y financiera).

Las municipalidades utilizan los siguientes valores para alcanzar sus objetivos: *su poder* (económico y político), respeto (son autoridades electas) y *rectitud* (la mayoría de personas en su jurisdicción confían en ellos al menos al inicio del período para el cual son electos).

La situación actual de crisis, debido a las fallas en el esquema de política actual, está generando una pérdida de respeto hacia la municipalidad. Sin embargo, al mismo tiempo ello crea la oportunidad para un involucramiento más directo de la municipalidad en la administración de los recursos naturales del municipio, lo que podría traducirse en el aumento de respeto hacia su función.

ONG's y Proyectos de Desarrollo: "dispuestos a apoyar a las comunidades a lograr un uso más sostenible de los recursos naturales".

Algunas ONG's y Proyectos de Desarrollo (ambos financiados principalmente con fondos de la Cooperación Internacional) contribuyen al desarrollo local, en particular apoyando a las comunidades rurales.

Este sector *demand*a de las entidades gubernamentales un estilo de trabajo con mayor sensibilidad hacia las necesidades de las comunidades locales y orientación a proteger el ambiente en la región. Tienen la *expectati-*

deterioro de los recursos hídricos. La gobernación espera se implementen medidas de control más estrictas en la extracción de madera y eventualmente la implementación de una veda forestal en la región. La oficina del gobernador se *identifica* con la idea del poder centralizado, y utiliza su *poder* y *recursos* para alcanzar sus objetivos.

La estrategia de la gobernación no está clara, aunque podría ser descrita como ideológica considerando que promueve la idea del *centralismo* como forma de administrar el poder.

Los medios de comunicación: estos enfatizan la idea de conflicto, resaltando los aspectos negativos de la extracción de madera, tendiendo a culpar al gobierno, especialmente al Servicio Forestal, por la “degradación ambiental” que según ellos necesariamente provocan la extracción de madera. Se trata de una forma superficial de describir la situación en el Cerro Tuncaj.

Los aspectos de la actividad forestal que reciben mayor cobertura por los medios de comunicación incluyen la extracción de madera (particularmente en casos como en el del Cerro Tuncaj en el que la corta de árboles se asocia directamente con el deterioro de las fuentes de agua), incendios forestales, y actividades ilegales de extracción relacionadas con el comercio de árboles navideños.

La Prensa demanda del gobierno una actuación más transparente y mayor cuidado por el ambiente. Esperan un incremento del conflicto que dé lugar a ser cubierto por medio de reportajes o noticias en la región. Es posible que la participación de la Prensa pudiera contribuir a hacer más difícil la búsqueda de puntos en común entre los participantes en este conflicto. La Prensa se *identifica* con la idea de *transparencia*.

La Prensa utiliza sus *habilidades y destrezas* así como su imagen de *respeto* como sus principales valores para alcanzar sus fines. Podría utilizar más el conocimiento para ser más preactiva en la búsqueda de propuestas para abordar los problemas ambientales que puedan resultar ser más sostenibles.

Su estrategia ha sido económica debido a que su interés por los problemas ambientales se origina de la búsqueda de temas que puedan ser cubiertos como un mecanismo para incrementar sus ventas.

La participación de la Prensa en la búsqueda de soluciones al problema podría contribuir a un mejor uso del recurso forestal y de los recursos naturales.

Cuadro 1. Mapa del proceso social para el problema de gestión de políticas para el manejo de los recursos forestales en la zona del Cerro Tuncaj, Baja Verapaz, Guatemala.

Participante	Perspectiva	Situación	Valores de base	Estrategias	Resultados	Efectos
Empresarios de la Madera	Propiedad privada Cumplimiento de la ley	Geográfica Temporal	Recursos Respeto	Diplomática Económica	Pérdida de Recursos y Respeto	Poder y Disminución de recursos (riqueza)
Servicio Forestal (INAB)	Sostenibilidad en uso bos-ques Promoción de la ley y su cumplimiento	Geográfica Institucionalización	Poder Rectitud Conocimiento Respeto	Ideológica Diplomática Militar	Deprivation of power, rectitude and respect	Pérdida de rectitud y respeto
Comunidades Locales	Proceso incluyente Uso sostenible de los recursos naturales	Crisis Geográfica	Respeto Bienestar y Poder	Diplomática y luego Militar	Pérdida de respeto y poder	Mejorar el bienestar
Municipalidad de Granados	Cumplimiento de la ley Empoderamiento local	Geográfica Institucionalización	Rectitud Respeto	Diplomática	Pérdida de respeto	Ganancia de respeto
ONG's	Desarrollo sostenible	Geográfico Institucionalización	Conocimiento Recursos Habilidades Respeto	Diplomática Ideológica	Pérdida de respeto	Ganancia de respeto y conocimiento
Gobernación Departamental	Centralización del poder Cumplimiento de la ley	Crisis Institucionalización	Poder Bienestar (recursos)	Ideológica	Pérdida de respeto	Disminución de Poder
La Prensa	Transparencia Situaciones Conflictivas	Crisis Institucionalización	Habilidades Respeto	Económico	Ganar o Perder respeto y poder	Ganar Respeto

Análisis del proceso de toma de decisión.

Las siete funciones involucradas en el proceso de toma de decisión desempeñadas por los distintos participantes en el caso en estudio se presentan de manera sintética a continuación en el cuadro 2.

Cuadro 2. Resumen del proceso de toma de decisión para el problema de política del manejo de los recursos forestales en la zona del Cerro Tuncaj, Baja Verapaz, Guatemala.

Participante	Inteligencia	Promoción	Prescripción	Invocación	Aplicación	Evaluación	Terminación
Empresarios de la madera	Confiable pero no integral	Racional pero no integral ni tampoco efectivo	Efectivo y balanceado	Oportuno, Confiable, Efectivo	-Racional (cumple reglas) -Unitario (con-textual, sin sesgo) -Efectivo (funciona en la practica) -Constructivo (útil)	Disponibilidad al cambio Forzado por la situación de crisis	Considerando el diseño de nueva prescripción
Servicio Forestal	Confiable Selectivo No comprensivo ni tampoco disponible	Racional, Integrador	Efectivo, Racional y Proscriptivo	Oportuno, Confiable, Racional (interés común) No provocativo y Efectivo	-Racional (cumple las reglas) -Unitario (con-textual, sin sesgo) -Efectivo (funciona en la practica) -Constructivo (útil)	Disponibilidad al cambio Forzado por la situación de crisis	Considerando una prescripción más incluyente
Comunidades locales	Selectivo	Efectivo	Inclusivo Proscriptivo	Racional (interés común), No provocativo	-NO UNITARIO -NO CONSTRUCTIVO	La política actual no es efectiva	Disponibilidad a ser mas proactivas
Municipalidad	Confiable Disponible	Racional Integrativo	Efectivo Incluyente	Oportuno Confiable Racional	-NO UNITARIO -NO CONSTRUCTIVO	La política actual no es efectiva	Disponibilidad a ser mas proactivas
ONG's		Racional Integrador	Racional	Confiable Racional	Racional	La política actual no es efectiva	Disponibilidad a ser mas proactivas
Gobernación departamental	Selectivo	Racional	Efectiva Proscriptiva	Oportuna Efectiva	Racional	La política actual no es efectiva	Considering to design new pre-scription
La Prensa	Selectivo	Racional	Efectiva Proscriptiva	Oportuna Efectiva	Racional	La política actual no es efectiva	Willingness to be more proactive

Algunos elementos importantes pueden extraerse del cuadro 2. Primero, el identificar dos grupos en función de su grado de involucramiento en el problema: Los más directamente involucrados que incluye a los Empresarios de la Madera, el Servicio Forestal, Municipalidad y Comunidades, y un segundo grupo al que se puede calificar como de menor involucramiento y que incluye Gobernación Departamental, la Prensa y las ONG's.

De las funciones, evaluación y aplicación, dos grandes grupos se distinguen: Madereros y el Servicio Forestal en el primero, quienes reconocen el fracaso de la política actual y están dispuestos al cambio (forzados por la situación de crisis) y consideran una prescripción nueva más incluyente. El otro grupo está conformado por las comunidades locales y la municipalidad, ambos reconociendo que la política actual no ha sido efectiva y manifiestan su disponibilidad a involucrarse de manera más proactiva en el diseño e implementación de una nueva política con enfoque más incluyente.

El resto de participantes, aun cuando tienen un involucramiento directo menor, están realizando evaluaciones y terminación del proceso en distintas direcciones. Las ONG's y la Prensa podrían jugar un importante rol en la implementación de una nueva política con enfoque más incluyente debido a que ambos participantes reconocen la falta de efectividad de la política actual y están además dispuestos a participar en la implementación de una nueva.

Refinamiento del Problema: el problema es resultado de una política con un enfoque autoritario (de arriba hacia abajo) diseñado para ser aplicada en el contexto nacional sin considerar en su diseño e implementación las preocupaciones particulares expresadas como en este caso, sobre los potenciales riesgos que las prácticas forestales pueden tener sobre otros recursos naturales como el agua. Esta falla podría ser el resultado de viejas prácticas de hacer gobierno en forma autoritaria, que se caracterizan por la centralización del poder y la falta de participación de la sociedad civil en el proceso de toma de decisiones. La idea de construir instituciones más incluyente en Guatemala es relativamente nueva.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Tendencias detrás de la falta de efectividad en la administración de los recursos forestales en el Cerro Tuncaj

Las acciones del Servicio Forestal en la zona se han centrado en las regulaciones para la extracción de madera y en la prevención y supresión de incendios forestales. Las políticas vigentes en el tema forestal no están

abordando la preocupación de las comunidades locales acerca del riesgo de deterioro de los recursos hídricos debido a las prácticas de aprovechamiento forestal. Debido a esta falla y a la ausencia de una estrategia apropiada de comunicación, el Servicio Forestal es visto como una entidad que aplica políticas injustas por parte de las comunidades; la credibilidad del Servicio Forestal ante las comunidades se ha visto reducida debido a ello.

Los empresarios de la madera (madereros), por otro lado, están cuestionando la efectividad del Servicio Forestal en la zona debido al fracaso en la implementación de las regulaciones contenidas en la ley forestal. La municipalidad espera jugar un rol más importante en la administración de los recursos naturales al nivel local pero necesita el respaldo de instituciones del gobierno central, particularmente del Servicio Forestal –INAB–. Pareciera que el problema continuará a menos que el proceso de toma de decisión sea fortalecido, con base en clarificar el interés común.

Factores condicionantes que dan forma a las tendencias

Existen varios factores que contribuyen a dar forma a las tendencias en este problema de política. En primer lugar, es esencial tener en mente que el país retorna a una democracia formal en 1986, pero las oportunidades para desarrollar un esquema realmente democrático apenas comienza a gestarse luego de la firma de los acuerdos de paz en 1996, que puso fin a un conflicto armado que duro 36 años, el cual afectó severamente la mayoría de instituciones democráticas del país, debilitando la participación activa de la sociedad civil en la toma de decisiones.

En segundo lugar, existen algunas restricciones impuestas por la Ley Forestal y su marco regulatorio que presiona al Servicio Forestal a establecer como prioridad la administración de la extracción de madera de los bosques y al desarrollo de campañas para controlar los incendios forestales. Tercero, la población local no apoya ni está de acuerdo con la autoridad respecto a la forma de conceder permisos para la extracción de madera con fines comerciales por empresas o personas que no viven en la zona; a los ojos de las comunidades locales las compañías madereras y el mismo Servicio Forestal pudieran no tener legitimidad. Esto está ocurriendo principalmente debido a la pobre estrategia de comunicación que el Servicio Forestal tiene con las Municipalidades y Comunidades Rurales del área y por la influencia que las ONG's ejercen sobre las comunidades para la protección de las fuentes de agua, lo cual sin duda es una necesidad prioritaria para la sobrevivencia de los habitantes de la zona.

Finalmente, existe el reconocimiento por parte de todos los participantes del fracaso del enfoque actual de política aplicado, así como el sentimiento unánime que un enfoque más incluyente es necesario.

Proyección de las tendencias futuras

De continuar la actual tendencia en el proceso de toma de decisiones, puede esperarse un impacto negativo en el estado de los recursos naturales, lo cual significa que el proceso irá en sentido contrario a la dirección deseada. La proyección del problema de gestión de política podría implicar, primero, que el proceso de toma de decisiones continuará siendo inefectivo. Luego, la implementación de las políticas forestales serán rechazadas por las comunidades locales e incluso por la corporación municipal local con la consecuente pérdida de respeto para el Servicio Forestal.

La consecuencia de esto será que el manejo forestal en la zona será menos sostenible conduciendo a un incremento de actividades ilegales, corrupción, pérdida de autoridad para asegurar el cumplimiento de las leyes, y en general el deterioro cuantitativo y cualitativo de los recursos forestales y eventualmente de los recursos hídricos de la zona.

RECOMENDACIONES

Con base en el análisis del problema, surgen tres posibles alternativas a la política actual; estas se describen a continuación.

Alternativa A: Continuar con el mismo enfoque

Esta opción implica que el Servicio Forestal continuará desempeñando las mismas funciones en la zona pero mejorará su estrategia de comunicación, tratando de hacerla más efectiva. El Servicio Forestal, por mandato, debe realizar una serie de funciones incluyendo la aplicación de regulaciones, entre otras, las concernientes a la extracción de madera y la regeneración del bosque, prevención y supresión de incendios forestales, apoyo a comunidades locales con el manejo de recursos naturales, así como realizar educación y extensión en temas forestales. Es evidente que la poca efectividad de la actual política es en parte el resultado de la abrumadora carga de responsabilidades que recae en el Servicio Forestal. Por tanto, es aconsejable reducir las tareas del Servicio Forestal en la zona a manera de concentrar la atención en menos actividades, las que pueden ser realizadas de manera más efectiva.

La escogencia de esta opción, presenta las siguientes desventajas:

- (i) El Servicio Forestal dispone de limitados recursos y sus múltiples funciones limitan la habilidad de la institución para incorporar cambios.

- (ii) Este enfoque no crea oportunidades para incrementar la participación de otros actores en el proceso de toma de decisiones al mantenerlo centralizado en el Servicio Forestal.
- (iii) Lo más probable es que la pérdida de respeto del Servicio Forestal continúe.

Alternativa B: establecer una veda en la extracción de madera en la zona.

Esta opción ha venido siendo promovida por diferentes sectores, especialmente políticos en el Congreso de la República en años recientes. Una veda podría ser implementada a diferentes escalas, incluyendo el de una cuenca hidrográfica particular, un departamento, o incluso para todo el país. La implementación de una veda parcial o total en la extracción de madera de los bosques con una duración de entre seis meses y dos años fue considerada por el gobierno de Guatemala en el año 2000, aun cuando no se especificó si la veda sería aplicada en toda la república o sólo en algunas regiones. El argumento usado para promover una veda forestal es que esta medida es el instrumento de política más efectiva para permitir la regeneración natural de los bosques.

Esta opción presenta múltiples desventajas. Desde la perspectiva biológica está claro que un período tan corto de no intervención humana en tierras forestales no garantiza la recuperación apropiada de las masas forestales por regeneración natural, puesto que para ello se requeriría de al menos cinco años para observar un cambio significativo en la composición y estructura de los rodales. Además, la poca capacidad de las entidades encargadas de asegurar el cumplimiento de la ley en el país (policía nacional, guarda recursos y ejército) hace inviable la efectiva implementación de una veda. Existe por otro lado, el riesgo que una veda incremente los niveles de corrupción y mala administración de los recursos forestales.

Adicionalmente, implementar una veda enviaría un mensaje negativo a los inversionistas actuales y potenciales en el sector forestal en Guatemala; las inversiones forestales tienen un período de retorno a largo plazo y por tanto se requiere de una estructura legal e institucional estable para hacer atractivas estas inversiones. Finalmente, es necesario tomar en cuenta que por mucho, la mayor proporción de la madera extraída de los bosques en el país se utiliza como material energético, es decir para ser quemada como leña; este es el uso principal de la madera en el país y es particularmente importante en las áreas rurales, por lo que la aplicación de una veda tendría una oposición enorme de las comunidades rurales puesto que se estaría po-

niendo en riesgo su supervivencia al impedírseles la extracción de madera. En suma, esta alternativa se ve inviable e inapropiada para lograr una administración más efectiva de los recursos naturales en la zona del Cerro Tuncaj.

Alternativa C: Descentralización a través de la creación de una oficina de administración de los recursos forestales en la municipalidad

Esta alternativa considera otorgar el control de la administración de los recursos forestales de su jurisdicción a la municipalidad a través de crear una oficina de administración forestal. Esta oficina estaría a cargo de la implementación de las regulaciones de la ley forestal, otorgando permisos para la extracción de madera tanto para fines domésticos como comerciales.

Esta oficina local también sería responsable de asegurar el cumplimiento de los aspectos técnicos relativos al manejo de los bosques establecidos en la ley, tales como la preparación e implementación de planes de manejo forestal por técnicos forestales (Regentes), el pago de impuestos y fianzas de depósito que asegure la apropiada regeneración del bosque cosechado, y la correcta ejecución de las operaciones de aprovechamiento para minimizar el impacto negativo sobre el suelo y los recursos hídricos, incluyendo el diseño de caminos y vías de acceso secundarias dentro del bosque.

Adicionalmente, la oficina forestal desarrollaría tareas de extensión y capacitación para la prevención y supresión de incendios forestales, producción y plantación de plántulas forestales, así como otras actividades de manejo de los recursos naturales en el ámbito municipal. La ubicación jerárquica intermedia de la municipalidad entre el gobierno central (a través del Servicio Forestal) y la población local podría ser beneficiosa para mejorar la comunicación y por ende lograr una aplicación más efectiva de las normas y regulaciones para el uso sostenible de los recursos naturales en la zona y en particular de los bosques y sistemas agroforestales.

La oficina forestal municipal requerirá inicialmente apoyo financiero y técnico del Servicio Forestal, y se esperaría que gradualmente la municipalidad adquiriera la responsabilidad para su apoyo financiero. Resulta crucial para el desempeño de esta nueva oficina, que esta sea diseñada y fiscalizada con una participación activa de las comunidades locales, los empresarios de la madera, la corporación municipal, el Servicio Forestal y ONG's que operan en la zona. Estas últimas podrían jugar un rol activo al principio para el fortalecimiento de las capacidades técnicas de la oficina forestal.

La creación de oficinas encargadas de la administración forestal en las municipalidades de Guatemala es un enfoque nuevo y en continuo crecimiento en el país, que está siendo implementado por el Servicio Forestal a través del Programa de Manejo Forestal en Tierras Municipales y Comunes –BOSCOM–. Al momento de elaborar este documento, sin embargo, aún no había sido implementada para el área del Cerro Tuncaj.

Selección de la alternativa

La opción C, descentralización por medio de la creación de una oficina forestal municipal, se considera la más adecuada para lograr una política más efectiva para el manejo integral de los recursos naturales en el área del Cerro Tuncaj por las siguientes razones:

- Esta opción crea una oportunidad para la toma de decisiones al nivel local, lo cual resulta en un esquema más incluyente.
- Los gobiernos municipales usualmente tienen legitimidad al nivel local debido a que estos son autoridades electas democráticamente.
- Diferentes participantes pueden involucrarse de una manera más efectiva: algunos participantes con una participación directa (comunidades rurales, empresarios de la madera, el Servicio Forestal, Gobierno Municipal) y otros pueden jugar un rol de apoyo (ONG's, los medios de comunicación, Gobernación Departamental).
- La oficina forestal municipal constituye un esquema flexible. Debiera ser desarrollado con estándares que aseguren un involucramiento pleno de los participantes para garantizar la aplicación de prácticas técnicamente apropiadas y socialmente aceptadas a nivel municipal. Las regulaciones debieran ser definidas por medio de consenso.

Futuros retos

Aun cuando la alternativa de creación e implementación de una oficina forestal municipal parece ser la más viable para mejorar el proceso de toma de decisiones, ésta enfrenta algunos retos que deberán ser abordados en el futuro cercano; el listado de éstos aparece a continuación.

- ¿Cómo la Oficina Forestal Municipal puede alcanzar la auto-sostenibilidad financiera?
- Asegurar la transparencia y rendición de cuentas al nivel municipal requiere una participación activa de los diferentes actores, y particularmente de las comunidades locales, las que tradicionalmente no están acostumbradas a hacerlo.

- La creación y mantenimiento de una estructura balanceada para la oficina forestal municipal que asegure la participación sobre bases equitativas a los distintos participantes.
- Asegurar el cumplimiento con la ley forestal y sus regulaciones específicas requerirá un proceso de acompañamiento del Servicio Forestal. Este trabajo conjunto con la OFM deberá ir disminuyendo gradualmente hasta el punto que esta sea capaz de aplicar la ley forestal por sí misma en el municipio. Sin embargo, el Servicio Forestal deberá implementar un mecanismo de control pertinente para monitorear la aplicación apropiada de las regulaciones por parte de la OFM.

CONCLUSIONES

La descripción y análisis integral del problema de política en la zona del Cerro Tuncaj, condujeron a considerar tres posibles opciones, de las cuales se seleccionó aquella que parece ser la más adecuada para mejorar el proceso de política a manera de hacerlo más efectivo. Si la opción seleccionada es implementada, ello implicaría el inicio de una nueva fase en la administración de los recursos naturales en la zona. Este naciente período traerá consigo nuevos retos en tanto que nuevos problemas surgirán. Sin embargo, si la recomendación proporcionada se sigue, algo significativo podría ocurrir, produciendo un avance en el proceso de toma de decisiones, lo cual conducirá el proceso social a un nuevo nivel. La esperanza es que la comunidad en su conjunto pueda beneficiarse con ello.

Nuevas evaluaciones de este proceso en el futuro revelaran la efectividad del enfoque propuesto. Podría ser de gran utilidad el evaluar la efectividad de las oficinas forestales municipales (OFMs) en distintos sitios de Guatemala, con condiciones naturales y sociales diversas para hacer comparaciones entre ellas, y obtener lecciones del proceso cuando este es aplicado bajo diferentes contextos.

RECONOCIMIENTOS

- Al personal del Servicio Forestal de Guatemala (INAB) incluyendo a Juan Carlos Rosito, Josué Morales y especialmente a Mynor Barillas, coordinador del Proyecto de Fortalecimiento Forestal Municipal y Comunal (BOSCOM) al momento de realizar la fase de campo de este trabajo.
- Al cartógrafo Roberto Sagastume por la información geográfica desarrollada para la zona de estudio durante la consultoría.

- A Jason Wilmot por su valiosa revisión y comentarios de los borradores escritos en Inglés de este documento.
- A Dennis Escobar Galicia por su atinada revisión y comentarios de la versión en español del documento.
- A los compañeros de clase del curso Foundations of Natural Resource Policy and Management por sus sugerencias y comentarios a mi presentación.
- A los profesores Tim Clark y Andy Willard por su elocuente y significativo estilo de enseñanza de la temática de Políticas y Administración de Recursos Naturales.

REFERENCIAS

- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACIÓN, INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES -INAB-, PROYECTO DE FORTALECIMIENTO FORESTAL MUNICIPAL Y COMUNAL, BOSCOM. 2001. Relimitación y cobertura forestal del Cerro Tuncaj. 25 páginas.
- Clark, T.W. 2002. The Policy Process, A Practical Guide for natural Resource Professionals. Yale University Press. 215 p.
- Clark, T.W.; Willard, A.R.; Cromley, C.M. 2000. Foundations of Natural Resources Policy and Management. Yale University Press, New Haven and London. 372 p.
- INAB. Portal de Internet del Servicio Forestal de Guatemala. Tomado de Internet de <http://www.inab.gob.gt/clasificacion> de tierras por capacidad de uso el 2 de Diciembre de, 2002.
- Instituto Nacional de Bosques -INAB-. 1997. Ley Forestal, Decreto Legislativo Número 101-96. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 27 p.
- Martínez, H.A. 2000. La administración Municipal en el Manejo de los Recursos Naturales Renovables en Guatemala. Plan de Acción Forestal para Guatemala -PAFG- United States International Agency for Development, USAID. Tomado de Internet en Noviembre de 2002. <http://www.usaid.gov/country/lac/gt/>
- World Bank Website. Tomado de Internet de <http://wbln0018.worldbank.org/external/lac/lac.nsf> en Diciembre 12, 2002.

-
1. Ingeniero en Recursos Naturales egresado de la Fausac, cuenta con una Maestría en Ciencia del Bosque por la Universidad de Yale en Estados Unidos. Profesor e investigador en la Facultad de Agronomía en los temas de Agroforestería, Silvicultura y Manejo de Bosques, así como en el uso del fuego en ecosistemas forestales.