



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

Vol. XVI, No. 2



Guatemala
1998

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

Junta Directiva

Decano: Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
Secretario: Ing. Agr. Guillermo Méndez Beteta
Vocal I: Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
Vocal II: Ing. Agr. William Roberto Escobar López
Vocal III: Ing. Agr. Alejandro Hernández
Vocal IV: Br. Oscar Guevara Pineda
Vocal V: Br. José Domingo Mendoza

Comité Editorial

Lic. David Pinto Díaz
Dr. Luis Mejía
Dr. Ariel Ortíz
Ing. Agr. Mario Alberto Méndez
Periodista Dennis Escobar Galicia

Editor: Raúl Figueroa Sarti.

Portada: Drenaje de tierras agrícolas, fotografía de Eddi Vanegas.

Edición y Artes Finales: F&G Editores
Telefax: (502) 4740214
e-mail: fgeditor@guate.net

Impresión: Fotograbado Llerena
Telefax: (502) 2324372

Revista *Tikalia*
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Guatemala
Teléfono: (502) 4769770
Fax: (502) 4769770
Correo electrónico: comited.agro@usac.edu.gt

PRESENTACIÓN

Tikalía pública en este número dos artículos que son el resultado de tesis realizadas por profesores de la Facultad de Agronomía, graduados de postgrado en el extranjero. Así como también artículos de investigaciones llevadas a cabo por ingenieros agrónomos en sistemas de producción agrícola o en recursos naturales renovables.

En primer lugar aparece el artículo del Ing. Agr. y M. Sc. Eddi Vanegas Chacón, dedicado al drenaje de tierras agrícolas. En este se resalta que un sistema eficiente de drenaje proporciona, entre otras cosas: utilizar los suelos húmedos para una agricultura productiva, aumentar la cantidad de oxígeno en el suelo, prevenir el desarrollo de algunas enfermedades fungosas en las plantas y mejorar la estructura del suelo.

En la temática de Genética Molecular se presenta el artículo sobre la Taxonomía Molecular de la Zorzaparrilla, con el cual su autor, Ing. Agr. Domingo Amador Pérez, obtuvo maestría en la Universidad de Chapingo, México. Este artículo es novedoso porque presenta una identificación taxonómica de la Zorzaparrilla. Se utilizó una técnica basada en el ADN polimórfico amplificado al azar (RAPD) por considerarse una herramienta sencilla, rápida y relativamente precisa para caracterización taxonómica de cultivares.

El artículo de Ariel Ortiz y Ricardo Shirota fue producto de la tesis de Doctorado que el primero de ellos presentó en Brasil. Los autores pretenden contribuir al entendimiento de las consecuencias económicas de la erosión del suelo en Brasil, y de forma específica, estimar el costo generado por la pérdida de nutrientes y por la pérdida de productividad que la erosión del suelo está provocando en la cuenca del río Corumbatai.

En Retornos sociales de la investigación agrícola: el caso del arroz en Guatemala, 1973-1990; su autor, Mamerto Reyes, busca determinar la rentabilidad social de la investigación agrícola en arroz de los primeros 18 (1973-1990) de trabajo del Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola (ICTA).

En Método práctico para cálculo de tamaños de muestra en estudios por encuesta, el autor, Luis Reyes Chávez, presenta un método sencillo y con suficiente respaldo teórico para garantizar su aplicabilidad en una amplia gama de situaciones.

Finalmente en el artículo sobre huertos familiares, José Miguel Leiva analiza la importancia de ellos en la conservación *in situ* de una amplia variedad de especies vegetales.

Los editores

CONTENIDO

- 11** El drenaje de tierras agrícolas
Eddi Vanegas
- 29** Taxonomía molecular de la zarzaparrilla,
Smilax aristolochiaefolia Miller y *S. moranensis* Martens
& Galleoti, utilizando marcadores RAPDs
D. Amador-Pérez
J.K. Simpson
J. Molina-Torres
O. Martínez de la Vega
- 53** El costo interno de la erosión del suelo:
el caso de la cuenca del río Corumbatai, Brasil
Ariel A. Ortiz L.
Ricardo Shirota
- 65** Retornos sociales de la investigación agrícola:
el caso de arroz en Guatemala, 1973-90
Mamerto Reyes Hernández
- 81** Método práctico para cálculo de
tamaños de muestra en estudios por encuesta
Luis Manfredo Reyes Chávez
- 91** El rol de los huertos familiares
para la conservación *in situ* en Guatemala
José Miguel Leiva

RESÚMENES

El drenaje de tierras agrícolas. Eddi Vanegas.

En este artículo el autor desarrolla de manera general la importancia del drenaje de tierras agrícolas. Hace consideraciones sobre los beneficios que proporciona un sistema eficiente de drenaje.

Desarrolla la evolución histórica del drenaje de tierras agrícolas. Finalmente presenta algunas consideraciones de diseño para el drenaje de tierras agrícolas; describiendo los distintos tipos de drenaje: superficial, subterráneo y con pozos de tubo.

Taxonomía molecular de la zarzaparrilla, *Smilax aristolochiaefolia* Miller y *S. moranensis* Martens & Galleoti, utilizando marcadores RAPDs. D. Amador-Pérez, J.K. Simpson, J. Molina-Torres y O. Martínez de la Vega.

Con el objeto de establecer claramente la identidad taxonómica de dos especies de zarzaparrilla se recurrió a la técnica de marcadores moleculares RAPDs. Esto debido a que la zarzaparrilla tiene una taxonomía compleja cuando la identificación se basa únicamente en caracteres morfológicos externos.

Utilizando 14 oligonucleótidos iniciadores de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y hasta 8

individuos de una misma especie, se logró detectar hasta 8 fragmentos RAPDs en un mismo individuo con un solo iniciador. El rango de tamaño de fragmentos osciló entre 260 y 3000 nucleótidos. Se hicieron análisis de conglomerados con el programa SAS tomando en cuenta los fragmentos de los 14 oligos comparando dos métodos, el de Nei M y Li WH y el de Skroch P, Tivang J y Nienhuis J. En forma interesante, los dos métodos dieron resultados similares. Los dendrogramas o árboles filogenéticos permitieron distinguir claramente las dos especies y mostraron la estrecha relación entre los individuos de una misma especie. Por lo que la información obtenida es congruente con la clasificación convencional ya establecida de la zarzaparrilla. Fue evidente que el uso de un número grande de iniciadores y una muestra que representara la variabilidad de una misma especie contribuyera a establecer una mayor congruencia entre la información obtenida y la esperada.

Los resultados obtenidos pueden ser útiles para la identificación de plantas con fines de estudio de sus compuestos bioactivos y/o para certificar la identidad de las especies al momento de la comercialización de la zarzaparrilla.

El costo interno de la erosión del suelo: el caso de la cuenca del río Corumbatai, Brasil. Ariel A. Ortiz L. y Ricardo Shirota

En Brasil son pocos los estudios en que se ha estimado la magnitud de los costos internos de la erosión del suelo y ellos únicamente han considerado el costo de la reposición de los nutrientes perdidos. Las estimaciones han dejado fuera de consideración el costo de la disminución de la capacidad del suelo para proveer un ambiente sin restricciones al desarrollo de las plantas (pérdida de productividad). Además, se han basado en las pérdidas totales de suelo, mientras que el uso de la carga de sedimentos producida por la pérdida de suelo genera estimaciones más precisas. Este trabajo --elaborado con base en el trabajo de tesis doctoral de Ortiz L.-- presenta estimaciones del costo interno de la erosión del suelo que superan las deficiencias señaladas de los estudios anteriormente realizados. Se estimó el costo de la pérdida de nutrientes por el método del costo de reposición y la pérdida de productividad utilizando un modelo de regresión múltiple. Los resultados indican que se perdieron nutrientes por US\$ 4.6 millones (US\$ 27.2/ha) y la pérdida de productividad representó US\$ 7.5 millones (US\$ 334.7/ha), en 1990. Los valores estimados pueden servir de referencia para evaluar

la conveniencia, desde el punto de vista privado, del establecimiento de estructuras de conservación de suelos.

Retornos sociales de la investigación agrícola: el caso de arroz en Guatemala, 1973-90. Mamerto Reyes Hernández.

En este trabajo se evaluó la rentabilidad de la investigación agrícola en arroz hecha por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) de 1973 a 1990. Para ello se modeló económicamente el mercado nacional de arroz, el cual es un mercado abierto y deficitario, en donde desde la perspectiva del enfoque de los excedentes económicos, el cambio tecnológico solamente puede generar dos beneficios sociales, uno es el incremento de los excedentes de los productores y el otro es el ahorro de divisas por importaciones evitadas. Los resultados obtenidos: relaciones B/C entre 3.34 y 6.68 y tasas internas de retorno entre 63.10 y 96.51%, indican que este programa de investigación ha tenido una alta rentabilidad para la sociedad guatemalteca.

Método práctico para cálculo de tamaños de muestra en estudios por encuesta. Luis Manfredo Reyes Chávez.

El muestreo ha sido, es y será un método ampliamente utilizado

en la investigación como una forma de obtención de datos. Sin embargo, hay poco conocimiento sobre las formas más apropiadas para obtener los tamaños de muestra necesarios en cada caso.

Adicionalmente, los expertos en la materia tienden a fabricar un halo de misterio en los cálculos, que en la práctica no existe y no debe existir. Es por eso que, con el afán de contribuir a iluminar el panorama, se presenta en este trabajo un método práctico y con el suficiente respaldo teórico para garantizar su aplicabilidad en una amplia gama de situaciones en las que se requiere un cálculo de tamaño de muestra para encuestas.

El método propuesto por el autor es válido bajo los siguientes supuestos: se usa un nivel de confianza de 95%; los parámetros «p» y «q» de la fórmula de Yamane son desconocidos y se asumen iguales a 0.5 respectivamente; y la boleta contiene variables cuantitativas y cualitativas, pero se usa como base de cálculo una cualitativa de proporciones.

El rol de los huertos familiares para la conservación *in situ* en Guatemala. José Miguel Leiva.

Guatemala tiene una extensión territorial de 108,889 kilómetros cuadrados. Presenta una amplia diversidad ecológica marcada por la existencia de 13 zonas de vida,

definidas por el sistema Holdridge (De la Cruz, 1978). En el país ocurre una marcada estación lluviosa entre los meses de junio a octubre, con precipitaciones que varían entre los 500 a 3,000 mm y temperatura que oscila entre 12 °C a 27 °C.

Se estima que actualmente existen 11 millones de habitantes, el 60% de ellos viven en la zona rural, en su mayoría pertenecientes a razas de origen maya. Guatemala es un país eminentemente forestal, el 52% del territorio nacional es de vocación forestal, presentándose bosques naturales de coníferas y latifoliadas en las partes bajas. La presión sobre el bosque ha sido considerable, estimándose actualmente una deforestación aproximada de 82,000 hectáreas anuales. El deterioro del recurso forestal se ha atribuido en parte a la ampliación de la frontera agrícola, con la cual las comunidades rurales buscan satisfacer sus necesidades alimenticias, especialmente de maíz y frijol. En muchos casos, por la fragilidad de los ecosistemas, los sistemas de producción hechos por los agricultores no son sostenibles, lo cual los obliga a buscar nuevos sitios para producir alimentos. Tal situación ha puesto en peligro la pérdida de especies forestales valiosas, entre otros recursos vegetales y animales.

En ese contexto, los huertos fa-

miliares en Guatemala han sido de mucha importancia debido a que en ellos se ha conservado una amplia variedad de especies vegetales asociadas. Estructuralmente, los huertos familiares varían para cada región; sin embargo, es importante indicar que la estructura y la composición de los huertos familiares está íntimamente ligada a patrones socioculturales de las poblaciones

y también las prácticas de manejo se orientan en ese sentido. La composición de los huertos es muy variable, existiendo desde huertos con uno, dos y hasta más de tres estratos, entre plantas herbáceas, arbustos y árboles. En el presente trabajo se describe brevemente la importancia de los huertos familiares y algunos ejemplos que se presentan en el país.

DRENAJE AGRÍCOLA

EL DRENAJE DE TIERRAS AGRÍCOLAS

Eddi Vanegas



INTRODUCCIÓN

La población actual de Guatemala se estima en 11 millones de habitantes, de los cuales 6.5 millones viven en áreas rurales del país. El índice de crecimiento promedio anual de esta población es aproximadamente de 2.6 % [Guatemala, SEGEPLAN, 1988]. Para satisfacer las necesidades alimenticias de esta creciente población, es necesario incrementar:

- a) El área cultivada en comparación con la tierra utilizada en obras de desarrollo urbano, carreteras, etc. Sin embargo, en algunas áreas la tierra es un recurso limitado; en otras, la agricultura no puede expandirse al costo de degradación de la naturaleza.
- b) La productividad del área total cultivada en el país (29,442 kms², 27% del territorio), tecnificando la siembra de granos básicos, de productos no tradicionales para el consumo y la exportación,

así como el cultivo de pastos, para el ganado [Guatemala, MAGA, 1992].

En este sentido, otra alternativa importante es el drenaje agrícola ya que un exceso de agua es tan perjudicial para el desarrollo de las plantas como un déficit de la misma. Con el exceso de agua, los espacios porosos del suelo se llenan totalmente de ésta, evacuando y eliminando el aire que es vital para el intercambio gaseoso de las raíces, ocasionando la clorosis y baja altura de las plantas con lo cual éstas pueden llegar a perderse parcial o totalmente si el agua no es evacuada. Un sistema eficiente de drenaje proporciona los siguientes beneficios [Conde, 1979]:

- Permite utilizar los suelos húmedos para una agricultura productiva.
- Aumenta la cantidad de oxígeno en el suelo, ya que a menudo una deficiencia de éste produce una reducción química en el Fe y Mn que pueden ser tóxicos en el desarrollo de las plantas.
- Previene el desarrollo de ciertas enfermedades fungosas en las plantas.
- Mejora la estructura del suelo, permitiendo un mejor anclaje de las raíces de las plantas y proporciona un ambiente favorable para el desarrollo de las actividades microbianas.

El drenaje agrícola que aunque en proyectos completos se da pocas veces, es aplicable para utilizar en forma racional los suelos de conformidad con su vocación potencial. Se sabe que se cosecha más aplicando métodos y prácticas agrícolas modernas, de allí que resulta interesante describir a continuación lo que es la base de uno de estos métodos.

Generalmente, el drenaje forma parte de un proyecto de desarrollo agrícola, cuya planificación e implementación es una empresa multidisciplinaria

en la que la ingeniería del drenaje es alguna de las especialidades requeridas, ya que dependiendo de las actividades a desarrollarse en el proceso planeado pueden establecerse varias fases cada una con información apropiada ya sea que ésta exista o se haya que obtener con investigaciones y estudios detallados. Se requiere información a tres niveles [USBR. 1971]:

- De reconocimiento, que se refiere a investigaciones de campo y gabinete para conocer el potencial de desarrollo del área del proyecto, coleccionar y evaluar información básica relacionada con topografía, clima, hidrología, fisiografía, suelos, uso actual de la tierra, recursos humanos, opciones técnicas en la solución de problemas, costos y beneficios.
- De factibilidad, basada sobre aspectos técnicos y económicos, agencias financieras que amparen el proyecto y decidan si es o no ejecutable.
- De post-autorización, que comprende hacer el diseño final del proyecto, preparación de documentos, ejecución de los trabajos por el contratista, donde se distinguen cuatro fases [Abdel *et. al.*, 1991]: preparación, ejecución, inspección y registro de información.

El trabajo debe ser supervisado para establecer control de calidad, tomar en consideración los costos de operación y mantenimiento: planes para operar y mantener el proyecto con personal entrenado, mantenimiento de tubos, drenes abiertos, erosión, compactaciones, formación de fangos, sedimentación y filtraciones. Por último lo relacionado con el desarrollo del monitoreo y evaluación para conocer si el proyecto funciona adecuadamente.

Un proyecto de drenaje agrícola, puede ser parte de un desarrollo local, regional o nacional. A nivel

nacional, cuantiosos esfuerzos se llevan a cabo por medio de Instituciones gubernamentales y privadas para impulsar proyectos de drenaje que colaboren para reclamar las 209,400 has. que presentan inundaciones temporales o permanentes en el país [Guatemala, MAGA, 1992]. Entre estos proyectos puede mencionarse:

- Programa Nacional de drenaje, incluye drenaje de la Laguna de Retana [Guatemala. Dirección de Recursos Naturales Renovables. División de Recursos Hidráulicos. 1968].
- El Proyecto de Irrigación y Drenaje del Valle de Monjas [Japón, JICA, 1987].
- Programa de Control de Inundaciones [Guatemala. Ministerio de la Defensa Nacional. Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas, 1988].
- Desarrollo del Valle del Polochic con base en la Recuperación de Tierras y Medidas de Manejo y Conservación [Guatemala, MAGA, 1991].
- Pozos Someros en la Costa Sur [Guatemala, MAGA, 1995].
- Drenaje del Caserío La Blanca [Guatemala, MAGA, 1995].
- Proyecto. Nuestra Cuenca [MAGA, UNEPROCH, 1996].

Coadyuvando de esta manera a solucionar la problemática de suelos fértiles en el país, mediante la recuperación de tierras marginales por anegamiento, desarrollando obras de infraestructura de drenaje para aumentar la frontera agrícola en las zonas problema.

Las principales experiencias en el establecimiento de proyectos de drenaje en Guatemala son:

- El aumento de la producción agrícola, con énfasis

en banano, caña de azúcar, arroz, hortalizas y granos básicos, contribuyendo a corto plazo con la seguridad alimentaria de los guatemaltecos y a largo plazo con la diversidad de la producción aprovechando el potencial de las zonas problema.

- Mejoras en los niveles de vida de las comunidades aledañas debido a la creación de empleos por la intensificación de la agricultura.

La posición intertropical de Guatemala y el hecho de contar con dos litorales distintos de gran proximidad, provocan una gama de macroclimas que afectan la producción agrícola de las áreas bajas de los litorales del Atlántico y el Pacífico, así como las zonas fluviales y lacustres; provocando anualmente pérdidas económicas que alcanzan números inimaginables, por ejemplo: Anualmente en la cuenca del río Polochic; donde se estima que la aportación de sedimentos debido al alto índice de deforestación (2% anual); es de 700 tons/km/año, lo que conlleva a una reducción del área del cauce natural del río produciendo conjuntamente con el alto índice de precipitación la inundación de 45,400 has, provocando pérdidas cuantiosas en la producción de maíz, maicillo y frijol en las partes bajas de la cuenca. También puede mencionarse, lo que sucedió en la cuenca del Motagua en 1995, donde se registraron daños en 60 mil ha de tierra, afectando plantaciones de banano, plátano, arroz y maíz con un costo de Q 40 millones [Vanegas. Ch. E.A.1995].

No obstante que el drenaje de tierras agrícolas como método efectivo para mantener un sistema agrícola sostenible ha sido poco estudiada en nuestro país, durante los últimos cinco años muchas empresas privadas han invertido tiempo y capital en mejorar la implementación de sistemas de drenaje basados en criterios técnicos, que permite evitar pérdidas

económicas por desbordamientos de ríos o mal funcionamiento de drenes de campo; evitando también mal entendidos de carácter social con los habitantes aguas abajo de los proyectos de drenaje. Tradicionalmente en Guatemala ha tenido importancia el uso del drenaje en el cultivo de: banano, caña de azúcar y arroz.

I. **LA HISTORIA DEL DRENAJE DE TIERRAS AGRÍCOLAS**

Los habitantes de grandes civilizaciones localizadas sobre valles, donde una población creciente conllevó a la necesidad de producir más fibra y alimentos, utilizaron técnicas de irrigación y drenaje. Por ejemplo: en Mesopotamia en el 3000 A.C., en Egipto en el 3000 A.C. en China desde el 2627 A.C., y en la India en el 2500 A.C. [Gulhati y Smith, 1967], y alrededor del inicio de nuestra era, en América del Norte, Japón, y Perú [Kaneko, 1975].

Aun cuando los problemas de salinidad pudieron contribuir al declive de las antiguas civilizaciones, hay evidencias que en la agricultura irrigada la importancia del drenaje y el control de la salinidad fueron entendidos muy tempranamente. En Mesopotamia, el control del nivel freático estaba basado en evitar el uso ineficiente del agua de irrigación y en la práctica del barbecho en años alternativos. Así mismo la siembra de cultivos de raíces profundas creaban una zona profunda seca la cual prevenía el incremento de sales a través de la acción del ascenso capilar. Durante el período de 1122 A.C. a 220 D.C. los suelos salino-alcalinos de la planicie norte de la China y la planicie Wei-Ho fueron enmendados con

el uso de un buen sistema de irrigación y drenaje, plantando arroz y encenagando con inundaciones periódicas [Wen y Lin, 1964].

Los polders (área de tierra tendida a una altura bastante baja, rodeada por un dique, cuyo nivel de agua puede ser controlado independientemente del nivel del agua en el dique), más antiguos que se conocen y estructuras relacionadas fueron descritas por Homero en su Iliada. Ellos fueron encontrados en la Periegesis de Pausanias (Grecia). Su relato es como sigue [Knauss, 1991]:

«En mi relato de Orchomenos, expliqué cómo la ruta corre al principio al lado del barranco y después hacia la izquierda del agua de inundación. En la planicie del Kaphyai se construyó un dique de tierra, que previene que el agua proveniente del territorio del Orchomenian cause daño a la tierra labrada del Kaphyai. Dentro del dique fluye un torrente lo suficientemente grande para ser llamado río, y desciende en una ruptura dentro de la tierra y éste fluye otra vez.... (se refiere a un lugar afuera del polder).»

En el segundo siglo A.C., El romano Cato se refirió a la necesidad de remover agua de los campos agrícolas, existiendo evidencia detallada que durante la civilización romana el drenaje subterráneo también era conocido, Lucius Inunius Moderatus Columella, quien vivió en Roma en el primer siglo, escribió doce libros titulados: *De Re Rustica*; en los cuales él describió como la tierra debe ser adecuada para la agricultura [Gulhati y Smith 1967]:

«Un suelo anegado debe primeramente estar libre del exceso de agua, usando drenes para removerla, los que pueden estar cerrados o abiertos. En suelos compactos, zanjás son usadas; en suelos ligeros, zanjás o drenes cerrados pueden usarse, los drenes descargan

en canales. Los canales deben tener un lado pendiente, de otra manera las paredes colapsarían. Un dren cerrado es hecho de una zanja, excavada a una profundidad de tres pies, la cual es llenada como máximo a la mitad de ésta profundidad con piedras o grava, limpia de suelo. La zanja es cerrada rellenándola con suelo hasta el nivel de la superficie. Si estos materiales no están disponibles, arbustos pueden ser usados, cubiertos con hojas de árboles de ciprés o pino. La salida de un dren cerrado hacia un canal es hecha de una piedra larga en la parte superior de otras dos piedras.»

Durante la Edad Media, en los países situados alrededor del Mar del Norte, la gente empezó a reclamar pantanos, tierras bajas lacustres y marinas, drenando el agua a través de un sistema de diques. La reclamación de tierras a través del drenaje por gravedad también fue practicada en el lejano Este, por ejemplo en el Japón [Kaneko, 1975].

El uso del molino de viento para bombear agua hizo posible cambiar lagos profundos en polders, por ejemplo las 7,000 ha del Polder Beemster en Los Países Bajos en 1612.

En el siglo XVII, la remoción del exceso de agua por medio de drenes cerrados fue introducida en Inglaterra [Donnan, 1976], y de allí, se esparció en Europa y en los Estados Unidos Americanos a mediados del siglo XIX [Nosenko y Zonn, 1976].

La invención de la maquina de vapor a inicios del siglo XIX conllevó a un incremento considerable en la capacidad de bombeo, permitiendo la reclamación de grandes lagos tal como las 15,000 ha de Haarlemmermeer, sur-oeste de Amsterdam, en 1952.

La invención de la máquina de combustible en el siglo XX produjo la instalación a alta velocidad de

drenes subterráneos con máquinas zanjeadoras. Este desarrollo fue acompañado con un cambio de tubos de arcilla a tubos rígidos de plástico de pared gruesa y lisa en los años cuarenta, seguidos de tubos de PVC corrugados y tubos de polietileno en los años sesenta.

La instalación de drenes subterráneos a alta velocidad con maquinaria moderna es importante en áreas inundadas, donde el número de días trabajables es limitado y en áreas irrigadas intensivamente, donde los campos son cultivados a lo largo de todo el año. En este contexto, es bueno notar que sistemas de drenaje subterráneos instalados en forma mecanizada no son necesariamente mejores que los antiguos sistemas instalados manualmente. Hay muchos ejemplos de sistemas antiguos de drenaje que todavía funcionan satisfactoriamente, por ejemplo un sistema de 100 años de antigüedad que drena 100 ha, que está bajo la supervisión de la Academia de Agricultura de Bielorusia en Rusia [Nosenko y Zonn, 1976].

Desde 1960, el desarrollo de nuevas maquinarias de drenaje fue acompañado por el desarrollo de nuevos materiales de cubierta o filtro para drenes. En el oeste norte de Europa, filtros orgánicos se han usado tradicionalmente. En los Países Bajos, por ejemplo, fibra pre-empaquetada de coco fue ampliamente utilizada. Ésta fue reemplazada posteriormente por coberturas sintéticas. En el este de Estados Unidos de América, es mucho más fácil disponer de grava que en Europa, y es utilizada como material filtrante de drenes. Países con climas áridos y semi áridos similares al oeste de los Estados Unidos Americanos (p. ej. Egipto e Irak) inicialmente siguieron las especificaciones dados por los Estados Unidos Americanos para la producción de filtros de grava, como lo describe el Bureau of Reclamation/USBR [1978]. Sin embargo,

el alto costo del transporte de la grava, guiaron a los diseñadores a tubos pre envueltos en países como Egipto, India y Pakistán.

II. DEL ARTE DEL DRENAJE HACIA LA CIENCIA DE LA INGENIERÍA

Como fue ilustrado en el bosquejo histórico, el drenaje de tierras fue una práctica basada en experiencias locales y gradualmente desarrollada en un arte con más aplicaciones generales. Fue únicamente después de los experimentos de Darcy en 1856, que varios científicos desarrollaron teorías que describen el flujo de agua en el suelo, permitiendo que el drenaje de tierras llegara a ser una ciencia [Russell, 1934; Hooghoudt, 1940; Ernst, 1962; Kirkham, 1972]. Aun cuando hoy día, estas teorías constituyen la base de los sistemas modernos de drenaje, siempre ha permanecido un elemento de arte en el drenaje de tierras. Ya que no es posible dar soluciones de antemano a todos los problemas de drenaje, pues un sondeo y un discernimiento ingenieril en el punto, es todavía necesario.

El rápido desarrollo de teorías de 1955 a 1975 es bien ilustrado por dos citas de Van Schilfgaarde.

En 1957 escribió: «A pesar de los grandes progresos de años recientes en el desarrollo de las teorías del drenaje, aún existe la necesidad por una solución analíticamente adecuado para algunos de los problemas más comunes que confronta el ingeniero diseñador.»

En 1978, el mismo autor resume el estado del arte para el International Drainage Workshop en Wageningen [Van Schilfgaard 1979] así:

«No se ganará mucho del futuro refinamiento de las teorías de drenaje ya existentes o del desarrollo de nuevas soluciones para problemas abstractos asumidos. El desafío actual es aplicar imaginativamente el catalogo de experiencias existentes para el desarrollo de procedimientos de diseño que son convenientes y rápidamente adaptables.»

Con la creciente popularidad de las computadoras, muchos de estas experiencias están combinadas con modelos de simulación y modelos de diseño como SWATRE [Feddes *et. al.*, 1993], SALTMOD [Oosterbaan y Abu Senna, 1990], SGMP [Boonstra y de Ridder, 1981], y DrainCAD [Lin *et. al.*, 1990].

Estos modelos son herramientas poderosas en la ejecución de diseños de drenaje alternativos. Sin embargo, actualmente, la ejecución no es únicamente visualizada desde una perspectiva de producción de cultivos, sino también desde una perspectiva ambientalista. En el área de drenaje, el tratado ambiental enfatiza sobre la salinidad, el crecimiento de las plantas aguas abajo del área drenada y problemas ambientales debido a la eliminación de las aguas drenadas.

Actualmente, 170 millones de hectáreas cuentan con sistemas de drenaje y control de inundaciones [Nosenko y Zonn, 1976]. Sin embargo, qué tanto la ejecución actual de estos sistemas puede ser pronosticada por los modelos descritos anteriormente. Esto es desconocido, por lo que es necesario ejecutar investigaciones locales para simular e interpretar la realidad de cada región.

III. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA EL DRENAJE DE TIERRAS AGRÍCOLAS

En la definición de drenaje de ICID, «La remoción del exceso de agua» indica que el drenaje agrícola es una acción producida por el hombre, quien debe saber cuanto remover de ese exceso de agua. Por lo tanto, cuando se designa un sistema para un área particular, el ingeniero en drenaje debe usar ciertos criterios para determinar si existe agua en exceso. Un balance del agua (subterránea) del área que va a drenarse es la herramienta más precisa para calcular el volumen de agua ha drenar.

Antes que el balance del agua del área pueda llevarse a cabo, un número de reconocimientos debe realizarse: resultando en mapas hidrológicos, hidro-pedológicos y topográficos respectivamente. Además, todas las entradas de agua superficial (y subterránea) y salidas deben medirse o estimarse. La precipitación y los datos relevantes de evapotranspiración del área, también deben analizarse. En adición, todos los datos relevantes sobre las propiedades hidráulicas del suelo deben recopilarse.

En algunos casos, la apropiada identificación de la fuente «del exceso de agua» evitará la construcción de un sistema costoso de drenaje. Por ejemplo:

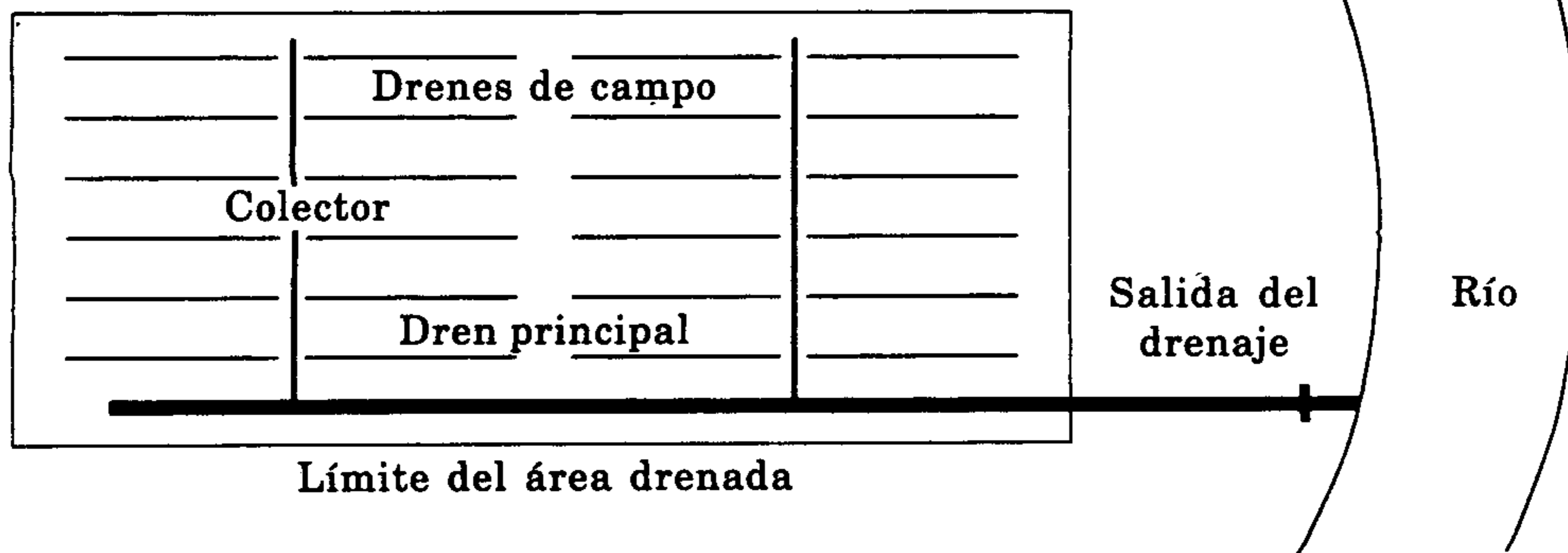
- Si el agua de irrigación causa inundaciones, la eficiencia del sistema de suministro a nivel de campo debe ser estudiada en detalle y mejorada.
- Si la entrada de agua superficial procedente de montañas alrededor del área es la principal causa del exceso de agua, ésta puede ser interceptada por un dren al lado de la montaña que desvíe el agua alrededor del área agrícola.

- Si el problema es causado por la entrada de agua (subterránea) salina, esta entrada subterránea puede ser interceptada por una fila de pozos de tubo, los cuales eliminarán su afluente dentro de un dren a través del área agrícola;
- Si el área está parcialmente inundada debido a que un río natural tiene una capacidad insuficiente de descarga para drenar el área, una reconstrucción del canal del río puede resolver el problema de drenaje.

Sin embargo, si el origen del exceso de agua se encuentra en la propia área agrícola (p. ej. por un exceso de precipitación o agua de irrigación que debe aplicarse para satisfacer los requerimientos de lavado para el control de la salinidad), entonces la instalación de facilidades de drenaje dentro del área agrícola debe considerarse. Usualmente, estas facilidades consisten de:

- a) Una salida del drenaje;
- b) Un canal principal de drenaje;
- c) Algunos drenes colectores; y
- d) Drenes de campo (ver figura 1).

Figura 1
Esquema de un sistema de drenaje



El canal principal de drenaje (b) es frecuentemente un río canalizado que corre hacia la parte más baja del área agrícola. Éste descarga su agua a través de una estación de bombeo o una compuerta hacia un río, lago, o el mar en un punto adecuado de salida (a).

Los canales principales de drenaje colectan agua de dos o más drenes colectores. Aun cuando los drenes colectores (c) preferentemente también corren a través de puntos bajos locales, su espaciamiento es frecuentemente influenciado por el tamaño máximo y forma del área drenada de acuerdo al sistema de drenaje de campo seleccionado. Sin embargo, el trazo de los drenes colectores, es todavía flexible ya que el largo de los campos de drenaje puede variar y drenes sub colectores pueden diseñarse. El largo y espaciamiento de los drenes de campo o laterales (d) debe ser tan uniforme como sea posible. Ambos, drenes colectores y de campo pueden ser drenes abiertos o tubos, lo que será determinado por una amplia variedad de factores, tales como: topografía, tipo de suelo, tamaño de la granja y el método de drenaje.

Los tres métodos más comúnmente utilizados para drenar excesos de agua son: drenaje superficial, drenaje subterráneo, y drenaje con pozos de tubo.

DRENAJE SUPERFICIAL. Es la remoción del exceso de agua de la superficie del suelo por medio de drenes superficiales para prevenir daño a los cultivos, sin causar erosión del suelo [ASAE, 1979]. El drenaje superficial es una técnica adecuada donde el exceso de agua de precipitación no puede infiltrarse y moverse a través del suelo hacia el dren, o no puede moverse libre sobre la superficie del suelo hacia un canal (natural).

DRENAJE SUBTERRÁNEO. Es la remoción del exceso de agua, para prevenir daño a los cultivos; debido a un nivel alto del agua subterránea. Los tubos son instalados debajo de la superficie del terreno a profundidades que varían entre 1 a 3 m. El exceso del agua subterránea entra en los tubos perforados y fluye por gravedad hacia el dren colector que puede ser abierto o cerrado.

DRENAJE CON POZOS DE TUBO. Puede ser descrito como el control de un alto o potencialmente alto nivel del agua subterránea. La mayor parte de las instalaciones de los drenajes con pozos de tubo, consisten de un grupo de pozos espaciados con un traslape suficiente de sus conos de depresión para controlar el nivel freático en todos los puntos en el área de cultivo.

Sin reparar en la técnica utilizada para reclamar un área particular, es obvio que ésta debe acondicionarse a la necesidad local para la remoción del exceso de agua. Actualmente la necesidad de remover el exceso de agua es fuertemente influenciada por una implicación ambiental. El diseño y operación de todos los sistemas de drenaje debe contribuir a la sostenibilidad de la agricultura en el área drenada y debe minimizar la contaminación de los ríos y lagos debido al retorno de fluidos agrícolas.

REFERENCIAS

- ABDEL, F. S. ET. AL. 1991. Execution of drainage works in Egypt. In: Flevobericht 320. Design and execution of drainage works in Egypt. 9 - 25 p.
- BOONSTRA, J. AND N.A. DE RIDDER 1981. Modelos numéricos del agua subterránea de una cuenca: un manual de orientación. ILRI Publicación 29, Wageningen, Holland. 226 p.
- CONDE, R.L. 1979. Drenaje Superficial en Suelos de la Serie Limón, Chontalpa, Tabasco. Subsecretaría de Agricultura y Operación. Dirección General de Distritos y Unidades de Drenaje. Memorándum Técnico No. 385. México. 8 -10 p.
- DONNAN, W.W. 1976. Una vista del drenaje a nivel mundial. En: Tercer Simposio Nacional de Drenaje. Publicación ASAE., 1-77, St. Joseph, pp. 6-9.
- FEDDES, R.A., M. MENENTI, P. KABAT AND W.G.M. BASTIAANSEN 1993. Large-scale modelling of unsaturated flow with areal average evaporation and surface soil moisture as estimated from remote sensing feasible? Journal Hydrology 143, pp. 125-152.
- GUATEMALA. 1968. Dirección de Recursos Naturales Renovables. División de Recursos Hidráulicos. Proyecto Nacional de Drenaje. Guatemala. s.n.p.
- _____. 1991. MAGA. DIRYA/ Dirección General de Riego y Avenamiento. Desarrollo del Valle del Polochic con base en la Recuperación de Tierras y Medidas de Manejo y Conservación. Guatemala. 30 p.
- _____. 1992. MAGA. DIRYA/ Dirección General de Riego y Avenamiento. Priorización de Cuencas con Problemas de Drenaje. Guatemala. 24 p.
- _____. 1995. MAGA. DIRYA/ Dirección General de Riego y Avenamiento. Drenaje del Caserillo La Blanca, San Marcos. Guatemala. 30 p.

- _____. 1995. MAGA. DIRYA/ Dirección General de Riego y Avenamiento. Pozos someros en la Costa Sur. Guatemala. 15 p.
- _____. 1996. MAGA. UNEPROCH/Unidad Ejecutora del Proyecto Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Renobvables de la Cuenca Alata del Río Chixoy. En Nuestra Cuenca. No.3. Guatemala. 12 p.
- _____. 1988. Ministerio de la Defensa Nacional. Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas. Programa de Control de Inundaciones. Guatemala. s.n.p.
- _____. 1988. SEGEPLAN/ Secretaría General de Planificación Económica de la Nación. Proyección de Población Urbana y Rural por Región y departamento. 1980-2000. Serie de Documentos de Trabajo No. 2. Guatemala. 300p.
- GULHATI, N.D. AND W. CH. SMITH 1967. Irrigated agriculture: a historical review. In: R.M. Hagan, H.R. Haise and T.W. Edminster (eds.), Irrigation of agricultural lands. Agronomy 11, American Society of Agronomy, Madison. pp. 3-11.
- ICID 1979. Agenda del Congreso Internacional en Rabat. Comisión Internacional de Irrigación y Drenaje, Morocco. ICID, New Delhi, pp. A-156-163.
- JAPÓN. 1987. JICA/ Japan International Cooperation Agency. Inception Report for The Feasibility Study on The Monjas Area. Guatemala. 40 p.
- KANEKO, R. 1975. Actividades de Ingeniería Agrícola en Japón. Curso de Irrigación y Drenaje, Agencia Internacional de Cooperación del Japón, Centro de Entrenamiento Agrícola UCHICHARA, 160 p.
- KNAUSS, J. 1991. Arkadian and Boiotian Orchomenos, centres of Mycenaean hydraulic engineering. Irrigation and Drainage Systems 5,4, pp. 363-381.

- LIN, F., P. CAMPLING AND P. PAUWELS 1990. Drain CAD: a comprehensive and flexible software package for the automation of the drainage design of agricultural drainage systems. User Manual. Center for Irrigation Engineering, Leuven, Belgium. 101. p.
- NOSENKO, P.P. AND I.S. ZONN 1976. Drenaje de Tierras Agrícolas en el mundo. ICID Boletín, 25,1, pp. 65-70.
- OOSTERBAAN, R.J. AND M. ABUSENNA 1990. Using SALTMOD to predict drainage and salinity in the Nile Delta. In: Annual Report 1990, ILRI, Wageningen, Holland. pp. 63-74.
- USBR. 1971. Planning of projects for development of water resources. U.S. Bureau of Reclamation. United States of America. 80 p.
- USBR 1978. Drainage manual. U.S. Department of the interior, Bureau of reclamation, Denver, 286 p.
- VAN SCHILFGAARDE, J. 1979. Progress and problems in drainage design. In: J. Wesseling (ed.), Proceedings of the International Drainage Workshop. ILRI Publication 25, Wageningen, Holland. pp. 633-644.
- VANEGAS, CH. E.A. 1995. Lecturas de clase: Inundaciones en la cuenca del Motagua. En II Curso de Postgrado en Drenaje Agrícola. ILRI-FAUSAC. Guatemala. 10 p.
- WEN, H.J. AND C.L. LIN 1964. The distribution and reclamation of saline-alkali soils of the North China Plain and the Wei-Ho Plain in the period of the Chou-Han Dynasties. Acta Pedologica Sinica 12, 1, pp. 1-9. (In Chinese with English abstract).

GENÉTICA MOLECULAR

TAXONOMÍA MOLECULAR DE LA ZARZAPARRILLA, *SMILAX* *ARISTOLOCHIAEFOLIA* MILLER Y *S. MORANENSIS* MARTENS & GALLEOTI, UTILIZANDO MARCADORES RAPDs¹

D. Amador-Pérez, J.K. Simpson,
J. Molina-Torres y O. Martínez de la Vega



INTRODUCCIÓN

La zarzaparrilla es una planta arbustiva y trepadora, perteneciente a la clase monocotiledónea. Forma parte de la familia Smilacaceae y del género *Smilax* [Calderón y Rzedowski, 1994]. Dichos taxónomos destacan la semejanza existente entre las diferentes especies de zarzaparrilla. Puntualizan que por lo general se distinguen una de otra en pocos rasgos. La naturaleza dioica del género *Smilax* y su ciclo de vida perenne dificulta la colecta de especímenes en flor en la mayoría de especies, esos aspectos entre otros, se combinan para hacer un grupo difícil de clasificar sólo por caracteres morfológicos. Como prueba de las dudas en la clasificación de la zarzaparrilla, Huft [1994] sugiere que por su semejanza 8 especies mesoamericanas deben ser reducidas a 4.

Se ha realizado considerable investigación de los compuestos activos de la planta, pero sin la

¹ Los autores agradecen la colaboración de las personas L. Cano y H. Díaz-Barriga por su ayuda en la colecta de los especímenes de la planta. También la ayuda del Dr. Rzedowski J. en la certificación de la identidad de las plantas por caracteres morfológicos.

adecuada identificación taxonómica, por las razones ya descritas. Para estos estudios es necesario auxiliarnos de técnicas versátiles que ayuden a identificar los especímenes sin depender de la medición de caracteres sujetos a influencias ambientales. Una de esas técnicas que pueden apoyar a la taxonomía convencional basada en la medición de caracteres morfológicos, como en estos casos, son los marcadores moleculares, los cuales no dependen de la edad de la planta ni de factores ambientales.

El objetivo del presente trabajo fue utilizar una de las diferentes técnicas que nos permitieran completar la información para identificar plenamente las especies de zarzaparrilla en estudio. La técnica basada en el ADN polimórfico amplificado al azar (RAPD) es una herramienta sencilla, rápida y relativamente precisa para casos de caracterización taxonómica de cultivares.

I.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. MATERIAL VEGETAL Y CONDICIONES DE CULTIVO. Para conocer la relación taxonómica a nivel molecular dentro y entre las especies *S. aristolochiaefolia* y *S. Moranensis*, se tomaron siete individuos de *S. aristolochiaefolia* y ocho de *S. moranensis*. Se colectaron plantas de *Smilax moranensis* en bosques del tipo de mesófilo de montaña propias de Pátzcuaro, Michoacán. Por otra parte, también se colectaron especímenes de *Smilax aristolochiaefolia* en bosques tropicales húmedos, propios del Estado de Veracruz, también en la república mexicana. Los ejemplares colectados se tuvieron bajo condiciones de invernadero

y su identificación fue confirmada por el Dr. Jerzy Rzedowski, experto en la taxonomía de la flora mexicana y estudioso del género *Smilax*. Por otra parte, ejemplares de las especies fueron depositados en el herbario del Instituto de Ecología A.C. con sede en Pátzcuaro, Michoacán.

Por otro lado, en este trabajo también se incluyeron especímenes que conformaron un grupo de diferentes individuos que sirvieran de comparadores taxonómicos entre especies y entre géneros y para certificar la confiabilidad de la prueba. Dicho grupo se conformó de especímenes del mismo género de *Smilax* y especímenes de géneros diferentes, como arábidopsis (*Arabidopsis thaliana*), maíz (*Zea mays*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*).

2. EXTRACCIÓN DEL ADN GENÓMICO. Para la extracción del ADN genómico de los distintos individuos de cada una de las especies de zarzaparrilla así como el de los individuos comparadores se utilizó la metodología descrita por Dellaporta [1994]. Se partió de plantas de *S. moranensis* obtenidas *in vitro* y de invernadero, así como de plantas exclusivamente *in vitro* de *S. aristolochiaefolia*.

3. REACCIÓN EN CADENA DE LA POLIMERASA (PCR). Inicialmente se preparó una mezcla madre para la reacción de amplificación para todas las muestras. El volumen total de esta mezcla fue de 25 microlitros conformado por: agua desionizada estéril; un amortiguador de la reacción a base de Tris-HCl 10 mM, pH 8.3; KCl 50 mM; MgCl₂ 1.5 mM; 100 mM de una mezcla de nucleótidos dATP, dCTP, dGTP y dTTP; 0.2 mM del oligonucleótido a probar; 30 ng del ADN genómico del individuo de *Smilax* o de la

especie a tratar y 5 U/ml de la enzima polimerasa-*Taq* [Ampli*Taq*, Perkin Elmer Cetus]. Como se mencionó antes, en este ensayo y en forma paralela también se incluyeron muestras de ADN de especies contrastantes como maíz, tabaco y *arabidopsis*, con la finalidad de garantizar la confiabilidad de la prueba.

4. OLIGONUCLEÓTIDOS INICIADORES UTILIZADOS.

Como iniciadores de la reacción se incluyeron los siguientes oligonucleótidos sintéticos de secuencia conocida, identificados con sus códigos comerciales (Operon Technologies, Inc.) y pesos moleculares: OPE01(2964), OPE02(3124), OPE03(2988), OPE04(3019), OPE05(3099), OPE16(3090), OPG02(3084), OPG09(2979), OPG12(2988), OPG15(3019), OPH11(2970), OPR01(3026), OPR08(2946) y OPR19(1890).

5. CONDICIONES EXPERIMENTALES PARA LA REACCIÓN DE AMPLIFICACIÓN.

La reacción se llevó a cabo bajo condiciones estrictamente controladas de temperatura usando un termociclador Gene Amp PCR System 9600 de Perkin Elmer. Con este equipo las muestras fueron sometidas a amplificación durante 40 ciclos después de 2 minutos de calentamiento. Cada ciclo consistió de 1 min a 94°C, 2 min a 32°C y 2 min a 72°C. El tiempo total de reacción fue aproximadamente de cinco horas.

6. DETECCIÓN DE SIMILITUDES Y DIFERENCIAS ENTRE INDIVIDUOS EN UN GEL DE AGAROSA.

Al final de la reacción, los fragmentos de ADN amplificados fueron separados por electroforesis en una gel de agarosa 1.2% con un sistema de amortiguador conformado por 0.045 M de Tris-borato y 0.002 M de EDTA. El volumen de reacción total fue cargado

en el gel utilizando un amortiguador de carga compuesto por 30% de glicerol, 0.25% de azul de bromofenol, 0.25% de xilencianol, 100 mM de EDTA y el amortiguador TAE 1x (0.04 de Tris-acetato y 0.001 M de EDTA). Las muestras fueron corridas aproximadamente a 100 voltios por espacio de 2 horas. Los geles fueron teñidos con bromuro de etidio a razón de 1.0 mg/ml y la información obtenida de los fragmentos RAPDs como producto del proceso electroforético, fue transferida por procedimientos fotográficos a placas negativas y positivas para su análisis.

7. EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN TAXONÓMICA ENTRE INDIVIDUOS Y ENTRE ESPECIES DE *SMILAX*.

Utilizando la proporción de fragmentos compartidos con base en la ecuación de similitud sugerida por Nei y Li [1979], $\{S = 2 \text{ veces el número de fragmentos compartidos entre dos individuos} / \text{la sumatoria de los fragmentos de dichos individuos, (ecuación 1)}\}$, los datos fueron analizados con el *Cluster Analysis* del Programa SAS para obtener un dendrograma o árbol filogenético que describiera la relación entre individuos y entre especies. El análisis se realizó utilizando los datos generados por todos los oligos al mismo tiempo.

Por otro lado utilizando la proporción de fragmentos no compartidos con base en la ecuación sugerida por Skroch *et. al.*, [1992], $\{D = \text{Número de fragmentos no compartidos entre dos individuos} / \text{Número de fragmentos considerados entre dichos individuos, (ecuación 2)}\}$, que permite establecer las diferencias entre individuos, los datos fueron también analizados dando origen un dendrograma similar.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. NÚMERO DE OLIGOS PARA DESCRIBIR LA VARIABILIDAD. Para describir la variabilidad o la relación taxonómica en especies de zarzaparrilla, en el presente estudio se utilizaron 14 oligonucleótidos de 10 bases nitrogenadas de tamaño. En algunos casos con el uso de un sólo oligo se describe la variabilidad de las especies en estudio. Este resultado contrasta con los obtenidos por Wilde *et. al.*, [1992] en un estudio de la variabilidad del cacao (*Theobroma cacao*), los cuales utilizando 9 oligos iniciadores de 10 bases, obtuvieron las huellas dactilares de todos los cultivares utilizados en el estudio. Por otro lado un estudio de las relaciones entre diez cultivares de papaya (*Carica papaya* L.) fue realizado con 11 oligos iniciadores de diez bases [Stiles *et. al.*, 1993]. En otros casos el número de iniciadores utilizado ha sido alto, como en el caso del estudio para la selección de recombinantes de trigo x centeno, en donde usaron 89 [Koebner y Martin, 1994].

Por otra parte, se pudo observar que diferentes oligos detectan diferente información. Algunos detectan alto grado de polimorfismo, otros bajo. En otros casos unos sirven para analizar la relación entre individuos de una sola especie de zarzaparrilla y otros para las dos. Un ejemplo se puede destacar cuando el oligo OPE02 fue probado, los índices de similitud fueron de 0.97 y 0.93 entre los individuos de cada una de las especies *S. moranensis* y *S. aristolochiaefolia*, respectivamente. Pero el valor de similitud entre ambas especies fue de cero. Estos índices evidencian la estrecha relación entre los individuos de una misma especie, pero ninguna relación entre

especies. Dichos resultados son consistentes en parte con los obtenidos por Stiles *et. al.*, [1993] en papaya, en donde analizando una misma especie, la similitud mínima detectada entre los individuos fue 0.7, sugiriendo que la similitud del germoplasma de papaya domesticada es muy estrecha en forma intraespecífica.

2. MUESTRA REPRESENTATIVA DE LA POBLACIÓN.

Para analizar la relación filogenética entre individuos y entre especies de zarzaparrilla se utilizaron entre 6 y 8 ejemplares de plantas, las cuales representaron la variabilidad genética de cada especie. Al respecto, Yu y Pauls [1994], sugieren que 7 individuos constituyen la muestra representativa de la variabilidad de una población. Es evidente que al aumentar el tamaño de la muestra, disminuye el error experimental y los datos obtenidos se ajustarán en mayor grado a los esperados. En efecto, Dos Santos *et. al.*, [1994], en un estudio utilizando 45 genotipos de *Brassica oleracea* L., concluyeron que las diferencias observadas en la estimación de la similitud genética fue más bien debido a error en el tamaño de muestra que debido a diferencias basadas en el ADN, es decir, la forma cómo los RAPDs y RFLPs detectan polimorfismo. En este caso, encontraron disminución en el coeficiente de variación al incrementar el tamaño de muestra.

3. GRADO DE POLIMORFISMO.

En cuanto al grado de polimorfismo obtenido en el presente estudio de la zarzaparrilla, la producción de fragmentos fue abundante posiblemente debido a que además de ser una planta silvestre, es como se mencionó antes, una planta de polinización cruzada. Esto quiere decir que conserva toda su variabilidad genética ya que no ha sido sometida a programas de mejoramiento de

ningún tipo. En cuanto al tamaño de los fragmentos, se pudo observar en algunos casos la presencia de hasta 8 fragmentos por individuo con un sólo iniciador. En promedio el número de fragmentos generado por cada uno de los iniciadores en cada una de las especies de zarzaparrilla fue similar. En algunos trabajos consultados sobre el análisis RAPD en el estudio de las relaciones genéticas entre especies se observó mayor producción de fragmentos en una especie en relación a la otra. Al respecto, Vierling y Nguyen [1992], trabajando con el uso de los marcadores RAPD para determinar la diversidad genética de genotipos de trigo diploide (*Triticum monococcum* y *T. urartu*) determinaron una mayor incidencia de polimorfismo en *T. urartu* que en *T. monococcum*. Un dendrograma construido con coeficientes de similitud indicó mayor similitud dentro de la especie *T. monococcum* que dentro de *T. urartu*.

4. TAMAÑO DE LOS FRAGMENTOS RAPDs. Para calibrar el tamaño de los fragmentos en pares de bases se utilizaron los datos del estándar de peso molecular considerado en el estudio y por extrapolación logarítmica con los datos de los fragmentos RAPDs se estimaron los valores de tamaño. Para calibración se consideraron solamente los fragmentos del ADN estándar que fueron claramente visibles y que migraron en el rango de distancia en que se desplazaron también los fragmentos RAPDs.

En un análisis de conjunto del resultado de todos los ensayos se pudo observar que el tamaño de los fragmentos osciló aproximadamente entre 260 y 3,000 nucleótidos en la especie *S. aristolochiaefolia*, mientras que en *S. moranensis* el tamaño osciló aproximadamente entre 260 y 2,750. La mayor frecuencia

en la distribución de los valores de ubicó entre 750 y 1,250 nucleótidos en *S. aristolochiaefolia*, mientras que en *S. moranensis* se ubicó entre 750 y 1,500. En *S. aristolochiaefolia*, el número promedio de fragmentos diferentes fue de 12.6, mientras que en *S. moranensis* fue de 12.3. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Wilde *et. al.*, [1992] en cacao en donde el rango de fragmentos varió entre cero y 3,000 nucleótidos.

5. PATRONES DE FRAGMENTOS GENERADOS. Observando los patrones de fragmentos en general, se pudo observar que la cantidad de fragmentos más alta fue de 8 en 6 casos y la más baja de 1 en 35 casos. El número de fragmentos en 14 patrones generados varió de 46 a 109. Los valores más altos fueron obtenidos con los oligos OPG12, OPG02 y OPR08, con 102, 105 y 109 fragmentos RAPDs, respectivamente. Esto demuestra el grado de polimorfismo de las plantas silvestres.

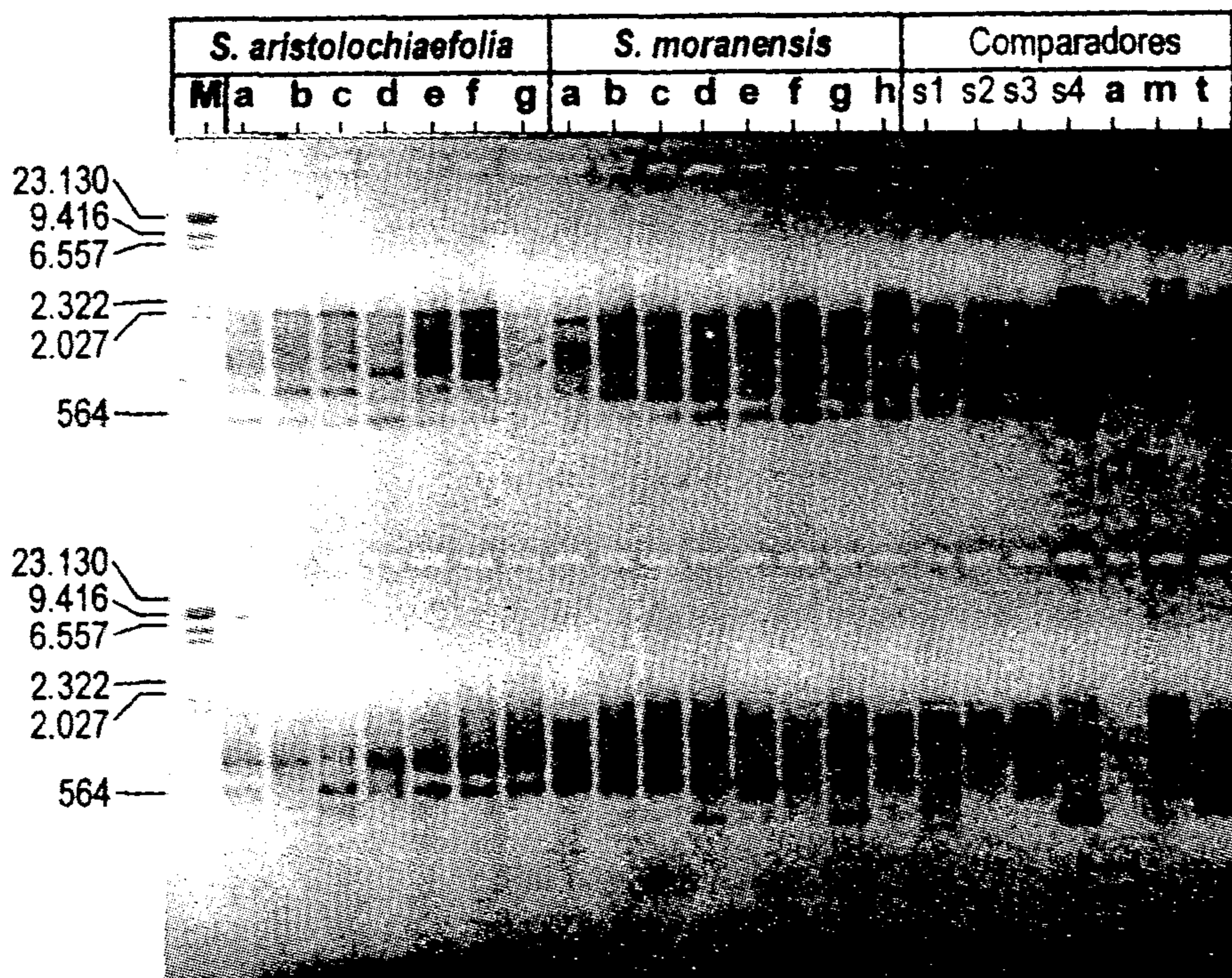
La **Figura 1**, como ejemplo, presenta un registro fotográfico de un gel después de la electroforesis. En este caso utilizando los oligos iniciadores OPE02 y OPE03. En dicha **Figura 1** se pueden observar dos patrones de fragmentos, en donde se nota la abundancia de fragmentos y en donde se visualiza el comportamiento de los patrones obtenidos. Para estos casos particulares se utilizaron muestras de ADN genómico de 7 individuos de la especie *S. aristolochiaefolia* y 8 de *S. moranensis*. Los diferentes individuos de las especies de *S. aristolochiaefolia* y *S. moranensis* están indicados con las letras de **Saa** a **Sag**, y de **Sma** a **Smh**, para cada caso. El grupo de muestras comparadoras consistió de 4 individuos del mismo género *Smilax* y 3 de géneros diferentes.

Los códigos s1 a s4 son las muestras comparadoras del mismo género *Smilax*. Las letras a, m, y t son muestras comparadoras de géneros diferentes, es decir *Arabidopsis thaliana* (a), *Zea mays* (maíz, m) y *Nicotiana tabacum* (tabaco, t).

6. DESCRIPCIÓN DE LA RELACIÓN TAXONÓMICA ENTRE INDIVIDUOS Y ENTRE ESPECIES DE *SMILAX*.

Se realizó un análisis global tomando en cuenta los datos de todos los oligos probados al mismo tiempo. Para poder hacer este análisis fue necesario auxiliar-

Figura 1
PATRONES DE FRAGMENTOS OBTENIDOS DE LA REACCIÓN PCR



nos de técnicas de análisis de conglomerados. Los métodos estadísticos útiles en estudios de variabilidad genética agrupan técnicas multivariadas que se conocen como análisis de conglomerados (*Cluster Analysis*). Estos métodos son técnicas básicamente descriptivas que permiten representar la variabilidad en forma multidimensional de manera que sea más comprensible, con la finalidad de encontrar las relaciones filogenéticas entre individuos, especies y/o poblaciones.

Con base en los resultados obtenidos, para analizar la diversidad genética de la zarzaparrilla el método utilizado se basó en el de los promedios, llamado *unweighted pairgroup method using arithmetic averages* (UPGMA).

Los datos analizados se originaron de la codificación de la condición de presencia o ausencia de fragmentos obtenidos. Esta codificación se realizó de la siguiente manera: a) identificando en el patrón de fragmentos de ADN los lugares donde se presentó algún fragmento RAPD en al menos un individuo, dichos fragmentos fueron codificados numerándolos consecutivamente a partir de su origen de migración en el gel de agarosa; b) en esta forma se obtuvo una matriz cuyas columnas indican los individuos y cada fila contiene los fragmentos, los que se le asignaron "1" si el fragmento estaba presente y "0" si el fragmento estaba ausente. El cuadro 1 muestra un ejemplo de la forma que se adoptó para codificar los datos de presencia o ausencia de fragmentos en un patrón electroforético.

Para realizar el análisis de relación entre individuos fue necesario, primero definir la métrica adecuada para evaluar la "distancia filogenética" y segundo, definir el procedimiento de agrupamiento. Por lo que

de similitud dentro de la especie *S. aristolochiaefolia*, oscilaron entre 0.30 y 0.90, con un promedio de 0.67. Dentro de la especie *S. moranensis* los valores oscilaron entre 0.27 y 0.87, con un promedio de 0.52. Por otra parte comparando la similitud entre ambas especies los valores se ubicaron en el rango de cero a 0.32, con un promedio de 0.17. Los valores de similitud entre *S. aristolochiaefolia* y el grupo de comparadores se ubicaron en el rango de 0.04 a 0.18 con un promedio de 0.10. Finalmente estimando la similitud entre *S. moranensis* y el grupo de comparadores se

Cuadro 1
CODIFICACIÓN NUMÉRICA DE PRESENCIA
(1) O AUSENCIA (0) DE FRAGMENTOS RAPD

<i>Smilax moranensis</i>						Comparadores				
Smd	Sme	Smf	Smg	Smh	s1	s2	s3	s4	m	t
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

observaron valores entre cero y 0.33, con un promedio de 0.14.

En el cuadro 3 se pueden observar las estimaciones de proporción de fragmentos no compartidos o proporción de diferencias con base en la ecuación 2. En este caso "0" indica similitud total y "1" indica

Cuadro 2
DISTANCIA GENÉTICA CONSIDERANDO
DATOS DE LOS FRAGMENTOS COMPARTIDOS

	<i>Smilax aristolochiaeefolia</i>											
	Saa	Sab	Sac	Sad	Sae	Saf	Sag	Sah	Sma	Smb	Smc	Smd
Saa	1											
Sab	0.75	1										
Sac	0.75	0.90	1									
Sad	0.77	0.88	0.87	1								
Sae	0.79	0.72	0.76	0.80	1							
Saf	0.70	0.73	0.72	0.80	0.87	1						
Sag	0.64	0.61	0.63	0.72	0.67	0.71	1					
Sah	0.40	0.41	0.42	0.47	0.40	0.39	0.51	1				
Sma	0.28	0.23	0.26	0.26	0.27	0.28	0.32	0.24	1			
Smb	0.18	0.11	0.11	0.12	0.18	0.19	0.14	0.00	0.60	1		
Smc	0.18	0.13	0.14	0.14	0.17	0.15	0.11	0.09	0.42	0.46	1	
Smd	0.25	0.19	0.18	0.20	0.27	0.22	0.17	0.05	0.40	0.37	0.67	1
Sme	0.21	0.16	0.14	0.17	0.24	0.20	0.17	0.04	0.31	0.38	0.61	0.69
Smf	0.21	0.16	0.14	0.17	0.21	0.20	0.17	0.04	0.32	0.33	0.65	0.72
Smg	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.17	0.05	0.35	0.27	0.58	0.64
Smh	0.22	0.12	0.12	0.14	0.22	0.20	0.18	0.00	0.34	0.48	0.35	0.47
s1	0.13	0.16	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.06	0.16	0.13	0.22	0.29
s2	0.05	0.08	0.06	0.05	0.07	0.07	0.05	0.06	0.17	0.07	0.17	0.22
s3	0.06	0.09	0.07	0.06	0.07	0.08	0.06	0.07	0.23	0.06	0.22	0.22
s4	0.12	0.13	0.13	0.14	0.12	0.13	0.18	0.17	0.22	0.14	0.24	0.13
a	0.10	0.06	0.06	0.10	0.11	0.09	0.10	0.06	0.09	0.03	0.12	0.11
m1	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.09	0.06	0.16	0.13	0.13	0.12
m2	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.08	0.06	0.04	0.02
t	0.12	0.16	0.14	0.11	0.14	0.16	0.13	0.06	0.14	0.15	0.14	0.16

similitud nula. Entre los individuos de las especie *S. aristolochiaefolia* los valores tuvieron un rango de cero a 0.15 con un promedio de 0.10. Mientras que dentro de la especie *S. moranensis* los valores oscilaron entre cero y 0.26, con un promedio de 0.14. Entre ambas especies los valores oscilaron entre 0.24

Cuadro 2
DISTANCIA GENÉTICA CONSIDERANDO
DATOS DE LOS FRAGMENTOS COMPARTIDOS

<i>Smilax moranensis</i>				Comparadores							
Sme	Smf	Smg	Smh	s1	s2	s3	s4	a	m1	m2	t
1											
0.87	1										
0.67	0.73	1									
0.63	0.62	0.56	1								
0.29	0.29	0.33	0.24	1							
0.17	0.21	0.22	0.02	0.53	1						
0.15	0.20	0.23	0.05	0.47	0.74	1					
0.11	0.17	0.17	0.08	0.15	0.21	0.22	1				
0.05	0.07	0.11	0.00	0.12	0.16	0.11	0.13	1			
0.14	0.13	0.16	0.12	0.05	0.04	0.03	0.05	0.12	1		
0.06	0.06	0.10	0.08	0.00	0.00	0.00	0.03	0.11	0.38	1	
0.13	0.13	0.08	0.07	0.07	0.04	0.05	0.15	0.10	0.07	0.08	1

y 0.36, con un promedio de 0.31. Al relacionar la especie *S. aristolochiaefolia* con el grupo de comparadores los valores oscilaron entre 0.26 y 0.36, con un promedio de 0.31. Finalmente al relacionar la especie *S. moranensis* con el grupo de comparadores los valores oscilaron entre 0.19 y 0.35, con un promedio de 0.32.

Cuadro 3
DISTANCIA GENÉTICA CONSIDERANDO
DATOS DE LOS FRAGMENTOS NO COMPARTIDOS

	<i>Smilax aristolochiaefolia</i>										
	Saa	Sab	Sac	Sad	Sae	Saf	Sag	Sma	Smb	Sme	Smd
Saa	0										
Sab	0.10	0									
Sac	0.09	0.03	0								
Sad	0.09	0.04	0.05	0							
Sae	0.09	0.11	0.10	0.08	0						
Saf	0.13	0.11	0.11	0.08	0.06	0					
Sag	0.14	0.15	0.14	0.11	0.14	0.12	0				
Sma	0.25	0.25	0.24	0.25	0.27	0.26	0.24	0			
Smb	0.27	0.28	0.28	0.29	0.30	0.29	0.30	0.08	0		
Smc	0.31	0.33	0.32	0.32	0.34	0.33	0.34	0.18	0.07	0	
Smd	0.29	0.30	0.31	0.31	0.30	0.32	0.31	0.19	0.15	0.07	0
Sme	0.33	0.34	0.34	0.35	0.34	0.35	0.35	0.24	0.21	0.09	0.11
Smf	0.33	0.34	0.35	0.35	0.36	0.36	0.35	0.26	0.23	0.08	0.11
Smg	0.30	0.32	0.32	0.32	0.33	0.34	0.30	0.22	0.20	0.13	0.13
Smh	0.27	0.30	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31	0.21	0.18	0.12	0.13
s1	0.29	0.27	0.26	0.28	0.31	0.30	0.29	0.24	0.25	0.24	0.23
s2	0.34	0.31	0.31	0.33	0.36	0.35	0.34	0.25	0.27	0.30	0.27
s3	0.29	0.28	0.28	0.29	0.31	0.30	0.28	0.19	0.24	0.25	0.23
s4	0.32	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.30	0.25	0.26	0.31	0.35
a	0.31	0.32	0.31	0.32	0.34	0.35	0.31	0.26	0.29	0.29	0.30
m1	0.30	0.28	0.28	0.30	0.32	0.32	0.30	0.24	0.24	0.30	0.28
m2	0.29	0.28	0.27	0.30	0.32	0.33	0.03	0.23	0.21	0.28	0.28
t	0.29	0.27	0.27	0.29	0.31	0.30	0.29	0.24	0.24	0.28	0.26

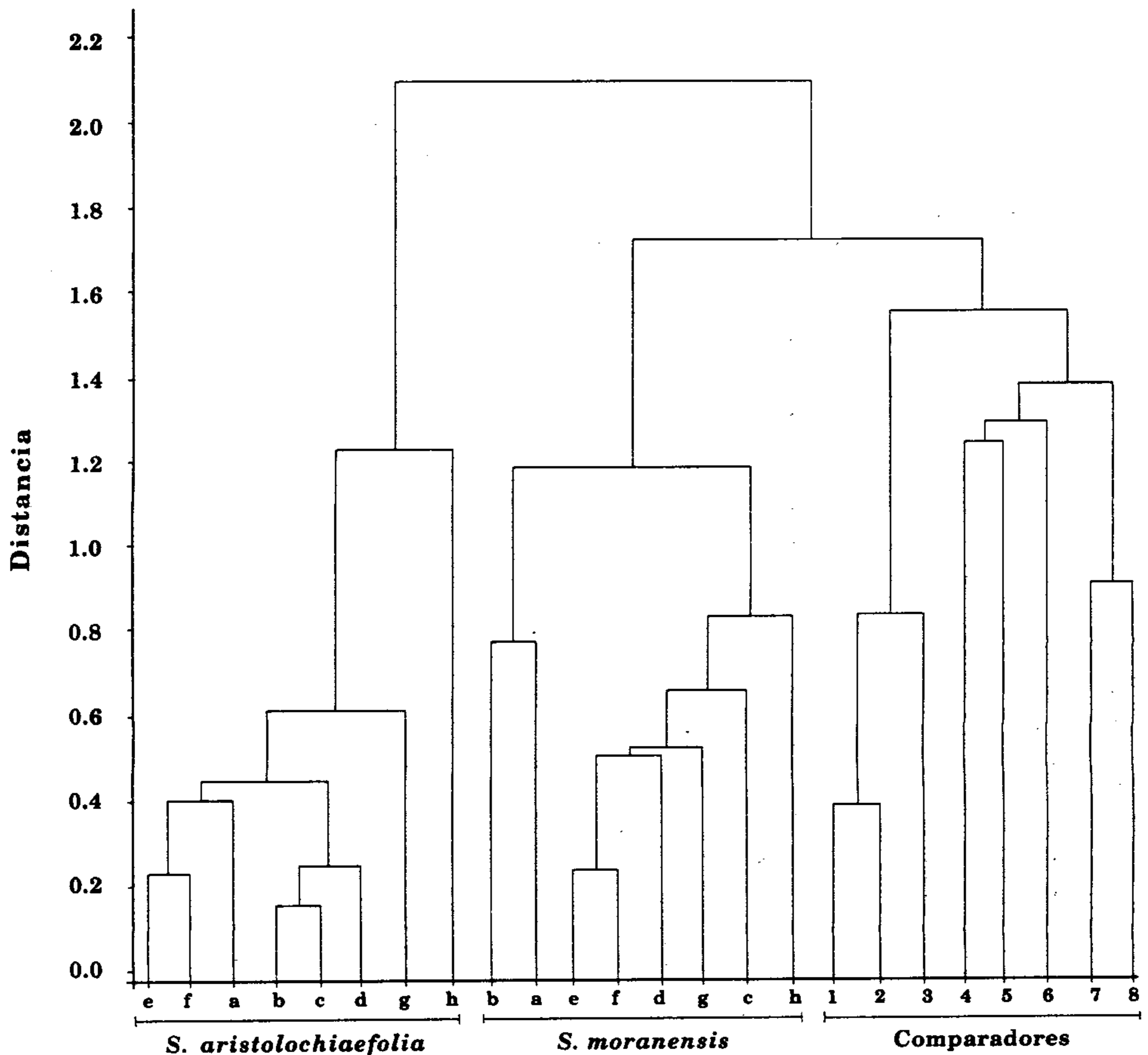
El *Cluster Analysis* de los datos de distancia dio origen a gráficas bidimensionales donde se describe la diversidad genética entre individuos y entre especies. La figura 2 muestra la descripción con base en datos de proporción de fragmentos compartidos. En dicha figura se puede observar la estrecha relación entre los individuos y entre las especies de *Smilax*.

Cuadro 3
DISTANCIA GENÉTICA CONSIDERANDO
DATOS DE LOS FRAGMENTOS NO COMPARTIDOS

<i>Smilax moranesis</i>				Comparadores							
Sme	Smf	Smg	Smh	s1	s2	s3	s4	a	m1	m2	t
0											
0.06	0										
0.11	0.09	0									
0.09	0.06	0.05	0								
0.25	0.25	0.23	0.24	0							
0.31	0.30	0.28	0.31	0.13	0						
0.27	0.26	0.24	0.28	0.13	0.07	0					
0.35	0.32	0.33	0.31	0.26	0.26	0.25	0				
0.35	0.34	0.31	0.34	0.25	0.25	0.22	0.29	0			
0.30	0.32	0.29	0.28	0.26	0.28	0.26	0.34	0.24	0		
0.30	0.30	0.27	0.26	0.25	0.27	0.23	0.28	0.23	0.12	0	
0.31	0.31	0.31	0.31	0.25	0.28	0.24	0.27	0.25	0.25	0.22	0

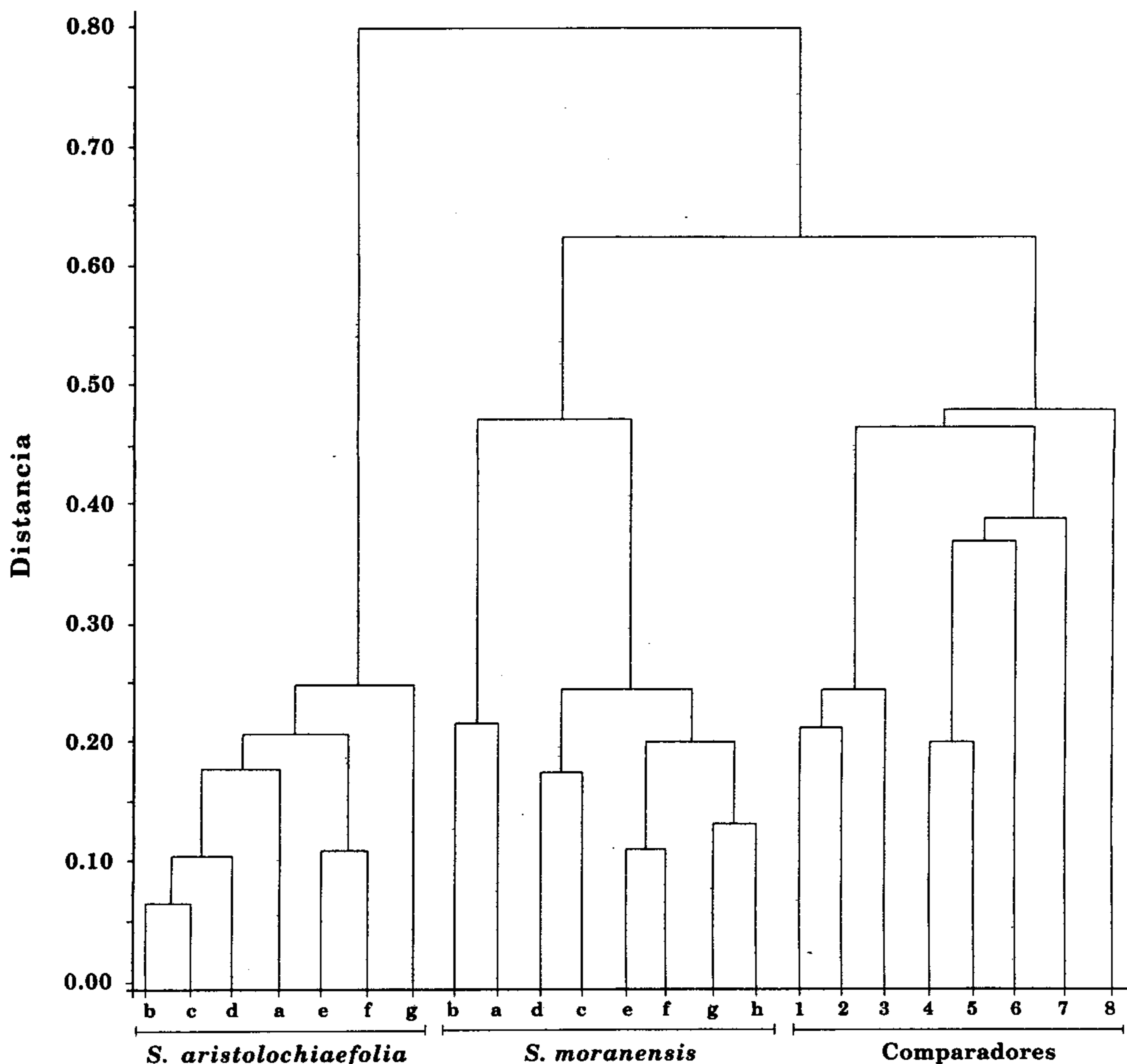
Claramente se distinguen tres grupos taxonómicos el de *S. aristolochiaefolia*, el de *S. moranensis* y el de los comparadores intra y intergenéricos. La figura 3, la cual fue construida con datos de proporción de fragmentos no compartidos, describe la diversidad

Figura 2
DENDROGRAMA DE LA RELACIÓN TAXONÓMICA OBTENIDO
EN BASE A LOS FRAGMENTOS RAPDs COMPARTIDOS EN DOS
ESPECIES DE *SMILAX* Y CUATRO ESPECIES DE COMPARADORES



de las dos especies de *Smilax* en forma similar como la figura 2.

Figura 3
DENDROGRAMA DE LA RELACIÓN TAXONÓMICA OBTENIDO EN BASE A LOS FRAGMENTOS RAPDs NO COMPARTIDOS EN DOS ESPECIES DE SMILAX Y CUATRO ESPECIES DE COMPARADORES



III. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El presente trabajo permitió describir la relación existente entre individuos de una misma especie de zarzaparrilla y establecer diferencias entre especies utilizando datos de marcadores RAPDs. Es incuestionable que este sistema de marcadores constituye una técnica útil para apoyar la taxonomía clásica, especialmente en los casos de difícil identificación como el de la zarzaparrilla. Fue evidente que el uso de un número grande de oligonucleótidos y una muestra grande de individuos que representara la variabilidad de una misma especie contribuyó a un mejor ajuste entre la información obtenida y la esperada. La información de los dendrogramas obtenidos que describieron el agrupamiento entre individuos fue congruente con la clasificación ya establecida de la zarzaparrilla, la variabilidad interespecífica fue mayor que la intraespecífica. Por lo que se concluye que los resultados obtenidos en dos especies de zarzaparrilla pueden ser de utilidad en la identificación de plantas para estudiar sus compuestos activos. Por otra parte, en el futuro, también pueden ser útiles para certificar la identidad de las plantas al momento de su comercialización.

REFERENCIAS

- CALDERÓN, G. y RZEDOWSKI, J.R. 1994. Familia Smilacaceae. En: Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 26. Ed: Rzedowski J y Calderón G. Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío, México.

- DELLAPORTA, S. 1994. Plant DNA miniprep and microprep: versions 2.1-2.3. The maize handbook. Ed: Freeling M y Walbot V. Springer-Verlag, New York.
- DOS SANTOS, J.B.; NIENHUIS, J.; SKROCH, P.; TIVANG, J. y SLOCUM, M.K. 1994. Comparison of RAPD and RFLP genetic markers in determining genetic similarity among *Brassica oleracea* L. genotypes. *Theoretical and Applied Genetics* 87: 909-915.
- DUKE, J. 1985. Handbook of medicinal herbs pp 446. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- HUFT, M.J. 1994. Descripción de la familia Smilacaceae. En: Flora mesoamericana vol 6 pp 20-25. Ed: Davidse G, Sousa M, Arthur S y Chater O. The Natural History Museum (Londres), Instituto de Biología (UNAM, México), Missouri Botanical Garden (USA).
- KOEBNER, R.M.D. y MARTIN, P.K. 1994. RAPDs as molecular markers for the detection of the presence of rye chromosomes in wheat. *Journal of Genetics & Breeding* 48: 85.88.
- MONARDES, N. 1990. Primera y segunda y tercera partes de la historia medicinal de las cosas que se traen de nuestras Indias Occidentales pp 56-76. En: Herbolaria de Indias, historia natural del Nuevo Mundo. Ed: Denot E y Satanowsky N, presentación y comentarios de Lozoya X. Instituto Mexicano del Seguro Social, México.
- MURASHIGE, T. y SKOOG, G. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15: 473-497.
- NEI, M. y LI, W.H. 1979. Mathematical model for study genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 74: 5267-5273.

- PRICE, K.R.; JOHNSON I.T. y FENWICK, G.R. 1987. The chemistry and biological significance of saponins in foods and feedingstuffs. *CRC Critical reviews in food science and nutrition* **26**: 27-135.
- RAFATULLAH; S.; MOSSA; J.S.; AGEEL, A.M.; AL-YAHYA, M.A. y TARIQ, M. 1991. Hepatoprotective and safety evaluation studies on sarsaparilla. *Journal of Farmacognosy* **29**: 296-301.
- SKROCH, P.; TIVANG, J. y NIENHUIS, J. 1992. Analysis of genetic relationships using RAPD marker data pp 26-30. En: *Journal of Plant Breeding Symposium, Applications of RAPD Technology to Plant Breeding*, Minneapolis.
- STILES; J.I.; LEMME, C.; SONDUR, S.; MORSHIDI, M.B. y MANSCHARDT, R. 1993. Using randomly amplified polymorphic DNA for evaluating genetic relationships among papaya cultivars. *Theoretical and Applied Genetics* **85**: 696-701.
- TSCHESCHE, R.; LÜDKE, G. y WULFF, G. 1969. Sarsaparillosid, ein bisdesmosidisches 22-hidroxy-furostanol-saponin. *Chemische Berichte* **102**: 1253-1269.
- TREASE, G.E. y EVANS, W.C.H. 1988. Tratado de Farmacognosia pp 492-531; 688-691. Nueva Editorial Interamericana, México.
- VIERLING; R.A. y NGUYEN, H.T. 1992. Use of RAPD markers to determine the genetic diversity of diploid wheat genotypes. *Theoretical and Applied Genetics* **84**: 835-838.
- WILDE, J.; WAUGH, R. y POWELL, W. 1992. Genetic fingerprinting of *Theobroma* clones using randomly amplified polymorphic DNA markers. *Theoretical and Applied Genetics* **83**: 871-877.

YU, K. Y PAULS, K.P. 1994. The use of RAPD analysis to TAG genes and determine relatedness in heterogeneous plant populations using tetraploid alfalfa as an example. En: PCR Innovations: current innovations pp 201 - 214. Ed: Griffin HG y Griffin AM. CRC Press, Boca Raton.

ECONOMÍA AGRÍCOLA

EL COSTO INTERNO DE LA EROSIÓN DEL SUELO: EL CASO DE LA CUENCA DEL RÍO CORUMBATAI, BRASIL¹

Ariel A. Ortiz L.
Ricardo Shirota



INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Bunce [1942], la erosión se torna un problema económico cuando causa la disminución de la productividad del suelo (depreciación del capital natural). La productividad se reduce porque tanto la capacidad de almacenar humedad, como la profundidad del suelo se reducen a tal punto que el desarrollo normal de las raíces de las plantas se ve restringido. La restricción al desarrollo normal de las raíces afecta el rendimiento potencial de las plantas, implicando una disminución de la producción. Esa disminución de la productividad del suelo es irreversible desde el punto de vista económico.

El mismo autor indica que la erosión del suelo también provoca la pérdida de nutrientes y materia orgánica, pero ese problema es visto, económicamente, como un caso en que se agregan costos variables al

¹ Se agradece al Ingeniero Agrónomo Mario Méndez Muñoz por las sugerencias que permitieron mejorar el artículo. Cualquier error que haya persistido es responsabilidad exclusiva de los autores.

costo del capital fijo (como el caso de adicionar lubricantes y combustible a un tractor).

En resumen, el costo de la pérdida de productividad y el costo de la pérdida de nutrientes, sumados, forman el costo interno (dentro de la unidad productiva) de la erosión del suelo. Existen varios estudios que documentan las consecuencias económicas internas de la erosión del suelo. Por ejemplo, Walker [1982], Miranowski [1984], Hertzler *et. al.* [1985], Gardner & Barrows [1985], King & Sinden [1988] y Palmquist & Danielson [1989] estudiaron el efecto de la erosión y de la conservación del suelo sobre los precios de la tierra agrícola. Pierce *et. al.* [1984], Dregne [1990] y Xu & Prato [1995] analizaron los costos de la erosión del suelo en términos de la pérdida de productividad. Swanson & MacCallum [1969], Pope *et. al.* [1983] y Barbier [1990] generaron estimaciones del impacto de la erosión y la conservación del suelo sobre el ingreso bruto y el ingreso neto de los productores. Sin embargo, en Brasil son muy pocos los estudios sobre el tema y la totalidad de ellos estima solamente el costo de la pérdida de nutrientes, ver por ejemplo, Castro [1987], Vergara [1991], Bastos Filho [1995] y Cavalcanti [1995]. Además, esos estudios estiman el costo partiendo de datos de pérdidas de suelo y no de la carga de sedimentos producida por dichas pérdidas, lo que tiende a sobreestimar el costo.

Este estudio pretende, de manera general, contribuir al entendimiento de las consecuencias económicas de la erosión del suelo en Brasil y, de forma específica, estimar el costo generado por la pérdida de nutrientes y por la pérdida de productividad que la erosión del suelo está provocando en la cuenca del río Corumbatai.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

Área del estudio

La cuenca del río Corumbatai se localiza entre 22° 05' y 22° 30' de latitud Sur y, 47° 30' y 47° 50' de longitud Oeste. El área de la cuenca es de 1,710 km² con una precipitación pluvial media anual de 1,462 mm. Los usos principales de las tierras de la cuenca, en 1990, eran pastos con 47% del área y caña de azúcar con 31% [Koffler, 1993]. Según Oliveira & Prado [1984], las unidades de suelos predominantes en la cuenca son Typic Paleudult (46%) y Typic Eutrorthox (31%).

Datos

Los datos sobre rendimiento de la caña de azúcar (t/ha), variedades plantadas, edad de los cañaverales (años), espaciamiento de siembra (m) y fertilización (kg/ha) fueron obtenidos en el ingenio Costa Pinto. Los precios de la caña de azúcar (R\$/t) se colectaron en la Asociación de Abastecedores de Caña de Piracicaba. Los precios de los fertilizantes (R\$/t) se tomaron de las publicaciones estadísticas del Instituto de Economía Agrícola de São Paulo. Las pérdidas de suelo por erosión (t/ha) fueron calculadas utilizando la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo [Wischmeier, 1978] y la carga de sedimentos (t/ha) fue estimada con base en Renfro [1975]. Los límites máximos tolerables de pérdida de suelo por erosión (t/ha) fueron calculados por el Dr. Francisco Lombardi Neto del Instituto Agronómico de Campinas, São Paulo, Brasil. Todos los precios fueron deflacionados por el

índice de precios al por mayor, usando el mes de diciembre de 1995 como año base.

Estimaciones

EL COSTO DE LOS NUTRIENTES PERDIDOS. Se estimó el costo de la pérdida de nitrógeno, N; fósforo, P; potasio, K; calcio, Ca y magnesio, Mg, de la siguiente manera:

La cantidad de nutrientes contenida en la carga de sedimentos fue determinada usándose la ecuación (1):

$$CN_j = CS \times AC \times CE_j; j = 1, \dots, 4 \quad (1)$$

donde CN_j es la cantidad del j -ésimo nutriente perdido; CS es la carga de sedimentos; AC es el área de la cuenca; CE_j es el contenido medio del j -ésimo nutriente en el suelo; $j = 1$ es N, $j = 2$ es P, $j = 3$ es K y $j = 4$ es Ca+Mg.

Las cantidades equivalentes de los fertilizantes más comúnmente utilizados en la región (sulfato de amonio para N, superfosfato simple para P, clorato de potasio para K y cal dolomítica para Ca+Mg) fueron calculadas a través de la ecuación (2):

$$FE_{jk} = \frac{CN_j}{NF_{jk}} k = 1, \dots, 4 \quad (2)$$

donde FE_{jk} es la cantidad del j -ésimo nutriente perdido, en términos de unidades equivalentes del k -ésimo fertilizante; CN_j es la cantidad del j -ésimo nutriente perdido; NF_{jk} es el contenido del j -ésimo nutriente en el k -ésimo fertilizante; $k = 1$ es sulfato de amonio, $k = 2$ es superfosfato simple, $k = 3$ es clorato de potasio, y $k = 4$ es cal dolomítica.

Finalmente, el valor monetario de los nutrientes perdidos, en unidades equivalentes de fertilizantes, se obtuvo a través de la ecuación (3):

$$VM = \sum_{k=1}^4 PR_k \cdot FE_k \quad (3)$$

donde VM es el valor monetario de los fertilizantes, PR_k es el precio del fertilizante k y FE_k es la cantidad perdida del fertilizante k .

COSTO DE LA PÉRDIDA DE PRODUCTIVIDAD. El valor de la pérdida de productividad se estimó calculándose el impacto que la erosión causa sobre el rendimiento de la caña de azúcar, a través de la siguiente ecuación:

$$RCA_i = a_{0i} + a_{1i}A_i^2 + a_{2i}A_i^2 + a_{3i}I_i + a_{4i}I_i^2 \\ + \sum_{j=1}^2 \beta_{1j}F_{ij} + \sum_{j=1}^2 \beta_{2j}(F_{ij})^2 + \sum_{j=1}^2 \phi_{1j}D_{ij} + s_{ij} \\ j=1, 2 \quad (4)$$

donde RCA_i es el rendimiento de la caña de azúcar en el tipo de suelo i ; A_i es la pérdida estimada de suelo en el tipo de suelo i ; I_i es la edad del cañaveral en el tipo de suelo i ; F_{ij} es la cantidad del nutriente j aplicado en el tipo de suelo i ; D_{ij} es una variable indicadora para incluir el efecto de las variedades de caña de azúcar plantadas en el tipo de suelo i ; a_{0i} a a_{4i} ; β_{1j} a β_{2j} y ϕ_{1j} son parámetros a ser estimados; $i = 1$ representa suelos del tipo Typic Paleudult, $i = 2$ representa los suelos del tipo Typic Eutrorthox y s_{ij} es el error.

La pérdida de productividad para cada tipo de suelo fue obtenida a través de la fórmula (5):

$$PP_i = \frac{\partial SCY_i}{\partial A_i} (\bar{A}_i - \bar{TL}_i); \quad (5)$$

donde PP_i es la pérdida de productividad del tipo de suelo i , $\partial SCY_i / \partial A_i$ es la variación del rendimiento de la caña de azúcar causada por una variación unitaria en la cantidad de suelo perdida en el tipo de suelo i , \bar{A}_i es la pérdida media de suelo en el tipo de suelo i y \bar{TL}_i es la pérdida tolerable media para el tipo de suelo i .

Finalmente, el valor monetario de la pérdida de productividad fue estimado usando la siguiente ecuación:

$$VPP = \sum_{i=1}^2 (PP_i \cdot AC_i \cdot PC); \quad (6)$$

donde VPP es el valor monetario de la pérdida de productividad, PP_i es la pérdida de productividad del tipo de suelo i , AC_i es el área de la cuenca con el tipo de suelo i ocupada con caña de azúcar y PC es el precio bruto de la caña de azúcar recibido por el productor en la región de Piracicaba.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 1 muestra los resultados de la estimación de la ecuación 4. Esos resultados indican que la erosión del suelo está afectando significativamente

la productividad de los suelos Typic Paleudult. En esos suelos, el efecto marginal de la erosión del suelo sobre el rendimiento de la caña de azúcar es 0.0394A. Si ese efecto es evaluado en el límite tolerable de pérdidas (9.17 t/ha), se obtiene que, en el margen, la pérdida de una tonelada adicional de tierra causa una reducción de 0.3613 t/ha de caña de azúcar.

Aplicando la ecuación 5 se obtiene que el rendimiento de la caña de azúcar está disminuyendo, en media, 18.86 t/ha por año por causa de la erosión del suelo.

El cuadro 2 presenta los valores estimados de los costos internos de la erosión del suelo.

De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro 2, los costos causados por la pérdida de productividad representan el 62% de los costos

Cuadro 1
COEFICIENTES ESTIMADOS PARA LA FUNCIÓN QUE RELACIONA
LOS RENDIMIENTOS DE CAÑA DE AZÚCAR CON LAS PÉRDIDAS
DE SUELO POR EROSIÓN EN LOS SUELOS TIPO TYPIC PALEUDULT
Y TYPIC EUTRORTHOX, EN LA CUENCA DEL RÍO CORUMBATAI.

Variables	Typic Paleudult	Typic Eutrorthox
Intercepto	139.0676 *	142.1619 *
Efecto cuadrático de la pérdida de suelo	0.0197 ***	—
Edad del cañaveral	17.8048 **	36.3073 *
Efecto cuadrático de la edad	—	3.2481 **
Variedad SP 79-1011	—	35.1639 *
F	6.84 **	13.45 *
R ² ajustado	0.3537	0.5234

*significativo al nivel de 0.01;

**significativo al nivel de 0.05; y,

***significativo al nivel de 0.10.

internos. Las pérdidas tolerables de suelo sólo causan costos por pérdida de nutrientes y ellos representan el 42% del valor de los costos causados por la pérdida de nutrientes calculados con las pérdidas estimadas de suelo. Los costos causados por las pérdidas tolerables de suelo son apenas el 16% de los costos internos estimados. Esas proporciones indican que si las pérdidas de suelo por erosión fuesen restrictas a los límites tolerables, los costos debidos a la pérdida de nutrientes podrían ser reducidos en 58% y los costos internos disminuirían en 84%. Las cifras dan una idea de la importancia económica que tiene el establecimiento de prácticas de conservación de suelos que limiten las pérdidas a los niveles tolerables. La importancia aumenta al considerar los costos externos que la erosión de las tierras causa en la cuenca. Las cifras también dan una idea del costo de un proyecto de conservación de suelos que sería justificable en términos de pérdida de nutrientes y productividad.

Cuadro 2
VALORES ESTIMADOS DE LOS COSTOS INTERNOS DE LA EROSIÓN DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO CORUMBATAI, BRASIL, 1990

Fuente	Valor calculado con la pérdida estimada de suelo (000US\$)	Valor calculado con la pérdida tolerable de suelo (000US\$)	(US\$/ha)	
			estimado	tolerable
Pérdida de nutrientes	4,645.9	1,948.3	27.2	11.4
Pérdida de productividad (suelos Typic Paleudult)	7,550.1	n.a.	334.7	n.a.
Costos internos	12,196.0	1,948.3	n.a.	n.a.

n.a. = no aplicable.

III. CONCLUSIONES

El estudio generó estimaciones de los costos internos causados por la erosión del suelo (pérdidas de productividad y de nutrientes) en la cuenca del río Corumbatai. Esos valores estimados fueron comparados con los generados a partir de las pérdidas tolerables de suelo. El propósito del estudio fue contribuir al entendimiento de las consecuencias económicas de la erosión y, eventualmente, subsidiar el proceso de planificación del uso conservacionista de las tierras agrícolas.

Los resultados permiten concluir que el costo de la pérdida de productividad del suelo (depreciación del capital natural) es, aproximadamente, el doble del costo generado por la pérdida de nutrientes, a pesar que la erosión apenas está afectando la productividad de los suelos del tipo Typic Paleudult.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIER, E.B. 1990. The farm-level economics of soil conservation: the uplands of Java. *Land Economics* (E.U.) 66 (2):199-211.
- BASTOS FILHO, G.S. 1995. Contabilizando a erosão do solo: um ajuste ambiental para o produto bruto paulista. Tesis M.S. Piracicaba, Brazil, Universidad de São Paulo, Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 127 p.
- BUNCE, A. 1942. *Economics of soil conservation*. Ames, Estados Unidos, Iowa State College Press. 227 p.

- CASTRO, O.M. 1987. Degradação do solo pela erosão. Informe Agropecuário (Bra) 13 (147):64-72.
- CAVALCANTI, J.E.A. 1995. Impacto econômico das perdas de solo no Vale do rio São Francisco. En: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, (33., 1995, Curitiba). Anais. Brasília, Brazil, SOBER. p. 1097-111.
- DREGNE, H.E. 1990. Erosion and soil productivity in Africa. Journal of Soil and Water Conservation (E.U.) 46 (4):431-36.
- GARDNER, K.; BARROWS, R. 1985. The impact of soil conservation investments on land prices. American Journal of Agricultural Economics (E.U.) 67 (5):943-7.
- HERTZLER, G.; IBÁÑEZ-MEIER, C.A.; JOLLY, R.W. 1985. User costs of soil erosion and their effect on agricultural land prices: costate variables and capitalized hamiltonians. American Journal of Agricultural Economics (E.U.) 67 (5):948-53.
- KING, D.A.; SINDEN, J.A. 1988. Influence of soil conservation on farm land values. Land Economics (E.U.) 64 (3):242-55.
- KOFFLER, N.F. 1993. Uso das terras da bacia do rio Corumbataí em 1990. Geografia (Bra) 18 (1):135-50.
- MIRANOWSKI, J.A. 1984. Impacts of productivity loss on crop production and management in a dynamic economic model. American Journal of Agricultural Economics (E.U.) 66 (1):61-71.
- OLIVEIRA, J.B. de; PRADO, H. do. 1984. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Boletim Técnico (Bra) n. 98.
- PALMQUIST, R.B.; DANIELSON, L.E. 1989. A hedonic study of the effects of erosion control and drainage on farm land values. American Journal of Agricultural Economics (E.U.) 71 (1):55-62.

- PIERCE, F.J.; DOWDY, R.H.; LARSON, W.E.; GRAHAM, W.A.P. 1984. Soil productivity in the Corn Belt: an assessment of erosion's long-term effects. *Journal of Soil and Water Conservation (E.U.)* 39 (2):131-36.
- POPE, C.A. III; BHIDE, S.; HEADY, E.O. 1983. Economics of conservation tillage in Iowa. *Journal of Soil and Water Conservation (E.U.)* 38 (4):370-3.
- RENFRO, W. 1975. Use of erosion equation and sediment delivery ratios for predicting sediment yields. En: *Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources*. Ed. USDA-ARS, Washington. p. 33-45.
- SWANSON, E.R.; MacCALLUM, D.E. 1969. Income effects of rainfall erosion control. *Journal of Soil and Water Conservation (E.U.)* 24 (2):56-9.
- VERGARA, O. 1991. Avaliação econômica das perdas de solo provocadas pela erosão hídrica. En: *Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural (29., 1991, Campinas)*. Anais. Brasília, Brazil, SOBER. p. 668-88.
- WALKER, D.J. 1982. A damage function to evaluate erosion control economics. *American Journal of Agricultural Economics (E.U.)* 64 (4):690-98.
- WEISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. Washington: U.S. Department of Agriculture (Handbook 537). 98 p.
- XU, F.; PRATO, T. 1995. Onsite erosion damages in Missouri corn production. *Journal of Soil and Water Conservation (E.U.)* 50 (3):312-6.

ECONOMÍA AGRÍCOLA

RETORNOS SOCIALES DE LA INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA: EL CASO DEL ARROZ EN GUATEMALA, 1973-90

Mamerto Reyes Hernández



INTRODUCCIÓN

La investigación agrícola constituye uno de los principales instrumentos para incrementar la productividad agropecuaria y disponibilidad interna de alimentos. Estudios hechos en Filipinas y Taiwán muestran que las medidas de política que afectan los rendimientos, tales como la investigación agrícola y las obras de irrigación, son más eficientes para incrementar el excedente comercial que la política de precios (Toquero *et al*, 1975 y Chinn, 1976). Por otra parte, estudios realizados en países industrializados (Griliches, 1964, Evenson, 1967 y Evenson, 1978), han demostrado la relevancia de la investigación agrícola en el crecimiento de la actividad agropecuaria.

En Guatemala, aun cuando la investigación agrícola ha contribuido a liberar divisas (Reyes Hernández, 1993) y a incrementar el abasto interno de

Este trabajo forma parte del estudio "La Rentabilidad Social de la Investigación Agrícola en Granos Básicos: El Caso del ICTA en Maíz y Arroz en Guatemala, 1973-90", el cual fue ejecutado con recursos y personal del ICTA. El informe de este estudio se puede consultar en el Centro de Documentación del ICTA, en Bárcena, Villa Nueva. No está de más indicar que las ideas y comentarios plasmados en este artículo son responsabilidad directa del autor y no representan necesariamente la posición del ICTA.

granos básicos (Reyes Hernández, 1995 y 1996), virtualmente se desconoce la relevancia que posee para la economía nacional, lo cual ha venido limitando la importancia que podría tener en la política agrícola y económica del país, redundando en una pérdida de su capacidad institucional para solicitar recursos nacionales e internacionales y/o en una merma en la escala de prioridad del Estado para asignarle fondos operativos y de inversión, lo cual tiende a agudizarse en la medida que el Estado adopta políticas de austeridad en el gasto público.

Este desconocimiento estimuló la realización de varios trabajos en el tema de la rentabilidad social en investigación agrícola. Este trabajo forma parte de una serie de estudios que se están realizando en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) para determinar la importancia económica de la investigación agrícola para Guatemala. En este estudio se busca determinar la rentabilidad social de la investigación agrícola en arroz de los primeros diez y ocho años de trabajo del ICTA, esto es el período 1973-90

I.

EL MODELO CONCEPTUAL

1. El mercado de arroz

El mercado de arroz en Guatemala es un mercado abierto y deficitario, es decir, en él participa el sector externo y la producción interna es insuficiente para atender a la demanda.

Un modelo de este mercado se representa en la figura 1. En este modelo, QSR1 es la oferta en el

mercado rural o mercado del productor en las condiciones previas al cambio tecnológico, QSR_2 es la oferta en el mercado rural considerando el nuevo estado tecnológico, QDC es la demanda en el mercado al consumidor y QSC es la oferta en el mercado al consumidor. La oferta en este nivel de mercado es la suma de la producción interna y las importaciones menos las exportaciones. Por otra parte, $PINT$ es el precio vigente en el mercado internacional más los costos necesarios para colocar el producto en la frontera y PR es el precio en el mercado rural.

En el mercado de arroz en Guatemala, como resultado de la apertura económica, el PR es igual al $PINT$, pues para los importadores resulta rentable la internación de productos hasta el nivel en que los precios internos se igualan a los externos. Por otra parte, el nivel de precios al productor logrado con la internación de producto, dadas las funciones de producción existentes en el país, conduce a niveles de producción incapaces de satisfacer el consumo interno. En este estado de cosas, como consecuencia del mejoramiento de la eficiencia productiva resultante de la investigación agrícola, la capacidad de los productores nacionales para atender al consumo se ve aumentada.

2. Los beneficios sociales

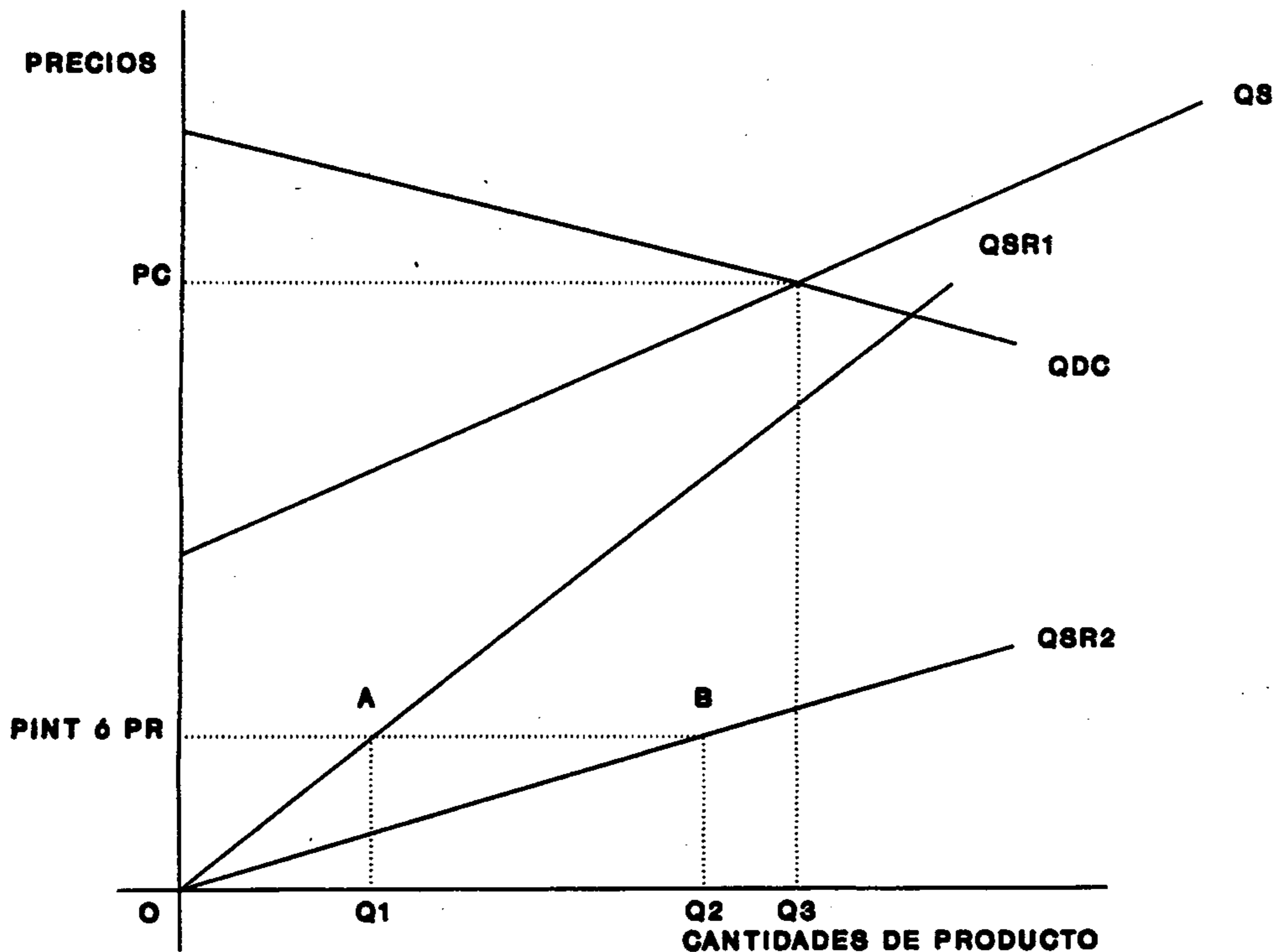
En mercados de esta naturaleza los consumidores demandan la misma cantidad de producto indistintamente de la tecnología que usen los productores. En la figura 1 se muestra que la cantidad consumida de arroz es Q_3 .

Si los agricultores continúan empleando la tecnología tradicional, al precio PR pueden ofrecer

Q1, por lo que para proveer a los consumidores, el país debe importar la diferencia $Q3-Q1$. Si los agricultores usan la tecnología mejorada, al precio PR pueden ofrecer Q2, lo cual reduce las importaciones de arroz en $Q2-Q1$. De donde se deduce que el país ahorra un valor de $PINT*(Q2-Q1)$, el cual es un primer beneficio que gana la sociedad como resultado del cambio tecnológico

Ahora, ¿qué ganan los agricultores con este proceso? En mercados con naturaleza similar al del

Figura 1
DESPLAZAMIENTO DE LA OFERTA EN EL MERCADO DEFICITARIO Y EN UNA ECONOMÍA ABIERTA



arroz en Guatemala, el cambio tecnológico conduce a incrementar los excedentes de los productores.

El excedente del productor es la suma agregada de la diferencia que existe entre el precio de equilibrio, y el costo marginal de producir cada una de las cantidades que conforman la función de oferta hasta llegar al punto en que esta diferencia es cero

En la figura 1, bajo condiciones de tecnología tradicional, el excedente de los productores lo representa el área OAPR. Bajo condiciones de tecnología mejorada, el excedente de los productores es el área OBPR. De donde se deduce que como resultado del cambio tecnológico, el excedente de los productores se incrementa en OAB. Este incremento constituye el segundo beneficio que gana la sociedad con este proceso.

II. MODELO EMPÍRICO

1. Modelo econométrico del mercado de arroz

El prototipo descrito en la figura 1, se modeló econométricamente en la forma que se presenta en el cuadro 1.

2. Modelos para medir los beneficios del cambio tecnológico

Para evaluar los beneficios del cambio tecnológico tradicionalmente se sigue el método del "con y el sin", el cual no es más que un formato para hacer comparaciones entre lo que pasa con el proyecto y lo que

Cuadro 1
MODELO ECONOMETRICO DEL MERCADO DE ARROZ EN GUATEMALA

Ecuación de la oferta en el mercado al productor

$$\text{PRODA}_t = 44.7644 - 13.0256 \left[\frac{\text{PFERT}_t}{\text{PRA}_{t-1}} \right] - 1.3635 iN_t$$

(1.314) (-0.991) (-0.936)

$$+ 0.0492 \text{GRIAA}_{t-2} + 0.00082 \text{LLUVIA}_t$$

(3.356) (0.054)

$$R^2: 0.640; Fc: 4.890[0.0164]; \text{Durbin-Watson: } 1.815$$

Identidad de la demanda en el mercado de consumo

$$\text{QDCA}_t = \text{PRODA}_t + \text{MA}_t - \text{XA}_t$$

Identidad del precio al productor

$$\text{PRA}_t = \text{PIMA}_t$$

Identidad del saldo de comercio

$$\text{SCA}_t = \text{PRODA}_t - \text{QDCA}_t$$

Nota: Los valores entre paréntesis son las razones de "t" de Student, el valor entre corchetes es la significancia de F de Fisher; y R^2 es el coeficiente de determinación múltiple. Los valores límites de Durbin-Watson al 1% de probabilidad para $n=16$ y cuatro variables explicativas, para probar ausencia de autocorrelación positiva son: $dL=0.53$ y $dU=1.66$; y para probar ausencia de autocorrelación negativa son: $4-dU=2.34$ y $4-dL=3.47$ en donde:

U Es el término aleatorio de error

Variables endógenas:

PRODA Oferta de arroz en el mercado al productor (miles tm);

QDCA Cantidad demandada de arroz en el mercado de consumo (miles de tm);

PRA Precio real de arroz al productor (quetzales/tm);

SCA Saldo de comercio de arroz (miles tm);

Variables predeterminadas:

PRA_{t-1} Precio real esperado de arroz al productor. Precio del año anterior (quetzales/tm);

PFERT Precio real del fertilizante (quetzales/tm);

iN Tasa nominal de interés (%);

GRIAA_{t-2} Conocimiento técnico o factor de cambio tecnológico. Medido a través de los gastos reales de investigación en arroz acumulados con dos años de rezago (miles quetzales);

LLUVIA Precipitación pluvial anual (mm);

MA Importaciones de arroz (miles tm);

XA Exportaciones de arroz (miles tm);

PIMA Precio CIF real de importación de arroz (quetzales/tm).

pasaría sin el proyecto. En este trabajo, la adaptación del "con y el sin" se hizo a través de la comparación de lo que pasó con el programa de investigación y lo que hubiese pasado si hubiese sido interrumpido. Para cada año de la serie estudiada, se comparó lo que ocurrió ese año con lo que hubiese ocurrido si el programa hubiese sido interrumpido el año anterior. Este procedimiento evaluativo permitió estimar la serie de beneficios sociales marginales resultante de las decisiones de continuar anualmente los programas de investigación.

Creemos que la aplicación ortodoxa del "con y el sin" en un horizonte de tiempo de la longitud del evaluado en este estudio (18 años), hubiese conducido a una sobrevaluación de los beneficios, fundamentalmente debido a que el escenario "sin proyecto" no resulta apegado a la realidad, pues en el largo plazo, la ausencia de un programa nacional de investigación agrícola motiva a los agricultores a que busquen otras alternativas para elevar la productividad y/o a que las empresas nacionales e internacionales las ofrezcan.

Para hacer operativa la medición de los beneficios sociales del cambio tecnológico en cada uno de los cultivos estudiados, con la función de oferta del modelo econométrico, se formularon funciones para los escenarios con y sin cambio tecnológico correspondiente a nuestra adaptación del "con y el sin". De acuerdo con la formulación del modelo econométrico, el efecto de la investigación agrícola en el t -ésimo año lo representa $GRIAA_{t-2}$, de donde se deduce que la ausencia del efecto de la investigación agrícola en el t -ésimo año lo representa $GRIAA_{t-3}$. Siguiendo este argumento, las funciones de oferta con cambio tecnológico consideraron la variable $GRIAA_{t-2}$ y las

funciones sin cambio tecnológico consideraron a $GRIAA_{t-3}$.

Para estimar los beneficios anualmente se emplearon las funciones de la forma

$$\begin{aligned} PRODA_t &= f_{(PRA)} = a_0 + a_1 [PRA_{t-1}]^{-1} \\ PRODA_t &= g_{(PRA)} = b_0 + a_1 [PRA_{t-1}]^{-1} \end{aligned}$$

en la cual, para el t-ésimo año, a_1 encierra el efecto de $PFERT_t$; a_0 encierra el efecto de iN_t , $LLUVIA_t$ y $GRIAA_{t-2}$ y b_0 encierra el efecto de iN_t , $LLUVIA_t$ y $GRIAA_{t-3}$. De donde, $f_{(PRA)}$ es la oferta de arroz al productor en el escenario con cambio tecnológico y $g_{(PRA)}$ es la oferta de arroz al productor en el escenario sin cambio tecnológico.

3. Medición de los beneficios sociales

Los cambios en los excedentes de productores se estimaron con rudimentos geométricos y de cálculo integral. Para cada año del período estudiado, se tomaron integrales definidas de las funciones de oferta con y sin cambio tecnológico. Por su parte, la estimación del ahorro de divisas se hizo siguiendo la notación de la figura 1; éste se estimó como la diferencia $Q2-Q1$, en donde, $Q2$ es la oferta predicha con la función del escenario con cambio tecnológico y $Q1$ es la oferta predicha con la función del escenario sin cambio tecnológico.

La estimación de los beneficios sociales atribuibles al trabajo del ICTA se realizó en dos escenarios alternativos, a saber: Escenario I, se asumió que la totalidad de los beneficios sociales son atribuibles al ICTA; y Escenario II, se asumió que sólo la mitad de tales beneficios son atribuibles al ICTA. En cierta forma, estos escenarios permitieron estimar el techo

y el piso de los beneficios sociales generados por la investigación agrícola gubernamental.

En el Escenario I se asumió que la variable que representa el cambio tecnológico en las funciones de oferta, es una proxi del cambio tecnológico inducido por el ICTA. Este supuesto no encuentra ningún conflicto lógico, pues en las ecuaciones de oferta empleadas, esta variable está representada por los gastos acumulados de investigación incurridos por el ICTA. Por otra parte, el efecto de otras fuentes de innovaciones tecnológicas que existen en la industria de arroz¹, se encuentra almacenado en los interceptos de estas ecuaciones en cuestión, pues sabemos que estos parámetros consideran los efectos en la oferta de las variables no especificadas en estas funciones. En este escenario, los beneficios sociales atribuidos al ICTA son el valor total de la suma de los dos beneficios sociales resultantes del cambio tecnológico.

¹ Industria vista como población de productores de un bien homogéneo.

En el Escenario II se asumió que la variable que representa al cambio tecnológico en las funciones de oferta, es una proxi del cambio tecnológico total o sea aquel cambio que resulta del trabajo de todos los agentes que introducen innovaciones tecnológicas en las poblaciones de productores de arroz.

En Guatemala, el ICTA es responsable de la investigación agrícola en arroz, sin embargo, en la generación de su cambio tecnológico también han participado los importadores de semillas, los cuales fueron agentes que fueron relevantes en la primera mitad del período estudiado; el servicio de extensión agrícola que vio incrementada su presencia en el campo durante 1987-90 con el Proyecto de Generación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria y Producción de Semillas (PROGETTAPS); y la industria internacional de agroquímicos y las empresas nacionales

que los comercializan, que constantemente están ampliando sus mercados de insumos.

Debido a estas razones, para derivar la parte de los beneficios sociales que es atribuible al trabajo del ICTA en el Escenario II, se asumió que la mitad de los mismos se puede considerar como responsabilidad del ICTA, la otra mitad resulta del trabajo de extensión, transferencia de información de vendedores de insumos y de otros agentes que introduzcan innovaciones tecnológicas.

Debe aclararse que asumir que los gastos de investigación del ICTA son la variable proxi del cambio tecnológico generado por todos los agentes que introducen innovaciones en la industria del arroz², es equivalente a asumir que la adopción de la tecnología transferida por estos agentes se vio estimulada por el programa de investigación del ICTA, lo cual podría ser válido sólo para los agentes que transfieren tecnologías generadas por el ICTA. En primer lugar, porque el programa de investigación del ICTA sustituyó la importación de semillas. En segundo lugar, porque la función del ICTA y los agentes que transfieren su tecnología (servicio de extensión y algunas ONG), es complementaria, aunque debe indicarse que esta relación de trabajo es relativamente nueva y data de mediados de la década ochenta. Y en tercer lugar, porque se carece de información que muestre que el trabajo del ICTA haya fomentado el consumo de agroquímicos, aunque esto pudo haber ocurrido en alguna proporción, principalmente para herbicidas y fertilizantes.

Con estas aclaraciones, se puede señalar que este escenario de valuación de beneficios sociales, aún cuando no tiene la formalidad matemática que fundamenta el Escenario I y resulta bastante restric-

²Industria vista como población de productores de un bien homogéneo.

tivo, desde la perspectiva de las hipótesis que implícitamente considera, puede resultar útil para hacer una primera aproximación del nivel mínimo en que la investigación agrícola pública contribuyó al bienestar nacional.

4. Indicadores de eficiencia económica

Para medir la rentabilidad social de la inversión en investigación agrícola, los indicadores empleados fueron la relación Beneficio/Costo (B/C) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Para estimar la relación B/C se utilizó una tasa de descuento del 12.5% anual, la cual de acuerdo con Gittinger (1987) puede emplearse como la tasa del costo de oportunidad del capital en países en desarrollo.

5. Los datos

La información empleada se obtuvo del ICTA, el Banco de Guatemala, el Instituto Nacional de Estadística (INE) e Instituto de Comercialización Agrícola (INDECA). Los precios y gastos de investigación se encuentran expresados en unidades monetarias de 1970. Como índice de precios para deflactar se usó el deflactor implícito del PIB, tomando 1970 como año base.

III. RESULTADOS

En el cuadro 2 se presentan los totales de los beneficios sociales generados por las decisiones de continuar anualmente el programa de investigación

Cuadro 2
BENEFICIOS SOCIALES, GASTOS E ÍNDICES DE RENTABILIDAD
SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA EN ARROZ, 1973-90
(MILES DE QUETZALES DE 1970)

Año	Gastos totales de investigación en arroz	Beneficios sociales atribuibles al ICTA*	
		Escenario I	Escenario II
1973	26.799	0.000	0.000
1974	53.598	0.000	0.000
1975	53.598	0.000	0.000
1976	68.323	0.000	0.000
1977	104.888	420.887	210.444
1978	111.989	756.966	378.483
1979	100.810	1 033.524	516.762
1980	103.669	1 207.288	603.644
1981	106.872	1 008.959	504.480
1982	87.338	860.944	430.472
1983	58.328	1 150.776	575.388
1984	62.130	657.926	328.963
1985	45.986	523.363	261.682
1986	79.256	837.062	418.532
1987	97.039	600.661	300.331
1988	79.556	711.131	355.565
1989	64.307	1 159.486	579.743
1990	43.482	1 047.182	523.591
Total descontado al 12.5% anual	507.274	3 387.424	1 693.712
Relación B/C		6.678	3.339
TIR (%)		96.512	63.098

(*) En el escenario I el 100% de los beneficios del cambio tecnológico es atribuible al ICTA; en el escenario II el 50% de los beneficios del cambio tecnológico es atribuible al ICTA.

en arroz y los resultados del análisis de rentabilidad social. Puede apreciarse que la rentabilidad de la investigación agrícola en arroz es alta, acusa relaciones B/C de 6.678 y 3.339, y TIR de 96.512 y 63.098%, en los Escenarios I y II, respectivamente.

La relación B/C indica que por cada Quetzal gastado en investigación agrícola en arroz retornaron entre 3.34 y 6.68 en beneficios sociales. Por su parte, la TIR indica que para generar un flujo de beneficios sociales iguales a los generados por este programa de investigación en el Escenario I, los gastos de investigación debieron haberse depositado en una cuenta de ahorro y cobrar una tasa de interés de 96.512% anual durante 18 años. Para generar el flujo de beneficios del Escenario II, se debió haber cobrado una tasa de interés de 63.098% anual.

Comparando las TIR de este programa de investigación agrícola con el intervalo en que se encuentra el costo de oportunidad del capital en los países en desarrollo (8-15%) (Gittinger, 1987), se tiene que éstas tasas son entre 6 y 4 veces más altas que el límite superior de este intervalo, con lo cual se tiene un elemento extra que apoya el argumento de que la investigación agrícola en arroz ha sido una actividad altamente rentable para la economía nacional.

IV. COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS SOBRE RENTABILIDAD SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA EN ARROZ

Para Centroamérica no encontramos referencias para arroz, sin embargo, los datos existentes sugieren que a nivel latinoamericano, el programa de investi-

gación del ICTA se encuentra en niveles de rentabilidad social similares a los del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el centro rector de la investigación agrícola en arroz de la región.

En un estudio reciente que cubre el período 1966-90, Sanint (1992) encontró que la contribución del CIAT a la investigación latinoamericana de arroz, en términos de costos y beneficios sociales, posee una TIR de 69%. Por otra parte, un estudio hecho en Colombia en los años setenta, permite indicar que el programa de arroz del ICTA se puede ubicar en el grupo de los programas con altos retornos sociales. Scobie y Posada (1976), encontraron que en Colombia durante 1957-74, la investigación agrícola en arroz registró TIR sociales que oscilaron entre 79 y 101%.

V. IMPLICACIONES

1. De acuerdo con Evenson y Flores (1978), los altos índices de rentabilidad sugieren que el nivel de inversión en investigación agrícola ha sido reducido. Este argumento es equivalente a indicar que si los beneficios sociales son el resultado de asignar recursos a una función de producción, la asignación de recursos para investigación agrícola en arroz, todavía se encuentra en la primera etapa de la producción, pues en esta etapa, el nivel de recursos empleados es bajo y registra productividades altas y crecientes, lo cual se asemeja al perfil mostrado por la investigación en arroz. Por tanto, una primera implicación de este trabajo es que la asignación de

recursos en este programa de investigación no ha sido la óptima.

2. Por otra parte, los bajos niveles de inversión en investigación agrícola en arroz y las altas ganancias sociales obtenidas, sugieren también que la sociedad está ganando una cuasi renta, la cual de acuerdo con la teoría económica debería ser empleada en el largo plazo para reproducir el recurso que la genera. En este caso, esta cuasi renta debe utilizarse para reproducir la capacidad investigativa del ICTA, tanto en instalaciones físicas como en programas de formación de capital humano y para evitar el éxodo del capital humano logrado.

BIBLIOGRAFÍA

- CHINN, D.L. (1976) "The Marketed Surplus of a Subsistence Crop: Paddy Rice in Taiwan" in *American Journal of Agricultural Economics* 58(3):583-587.
- EVENSON, R. (1967) "The Contribution of Agricultural Research to Production" in *Journal of Farm Economics* 49:1415-1425.
- EVENSON, R. (1978) "The Organization of Research to Improve Crops and Animals in Low-Income Countries" in T.W. Schultz (ed) *Distortions of Agricultural Incentives*. Bloomington, Indiana University Press. Páginas 223-245.
- EVENSON, R. E. y P. M. FLORES (1978) "Social Returns to Rice Research" in *Economic Consequences of the New Rice Technologies*, Los Baños, Filipinas,

International Rice Research Institute (IRRI). Páginas 243-265.

GITTINGER, J. P. (1987) *Análisis Económico de Proyectos Agrícolas*. 2da. Reimpresión de la 2da. Edición. Traducción del inglés de C. Saavedra Arce. Madrid, Tecnos.

GRILICHES, Z. (1964) "Research Expenditures, Education, and the Aggregate Agricultural Production Function" in *American Economic Review* 45:419-428.

REYES HERNÁNDEZ, M. (1993) "Investigación Agrícola y Liberación de Divisas: el caso del maíz en Guatemala, 1975-90" in *Memoria de la XXXIX Reunión Anual del PCCMCA*. Guatemala, ICTA. Páginas 109-112.

REYES HERNÁNDEZ, M. (1995) *Factores que han Contribuido al Sostenimiento de la Autosuficiencia de Maíz en Guatemala, 1975-90: Un Análisis Económico*. Publicación Miscelánea 29. Guatemala, ICTA.

REYES HERNÁNDEZ, M. (1996) *Macroeconomía, Investigación Agrícola y Autosuficiencia Alimentaria: El Caso del Arroz en Guatemala, 1975-93*. Borrador de trabajo. Guatemala, ICTA.

SANINT, L. R. (1992) *New Rice Technologies for Latin America: Social Benefits, Past Reminiscences and Issues for the Future*. Trends in CIAT Commodities 1992. Working Document No. 111. Cali, Colombia, CIAT.

SCOBIE, G. M. y R. POSADA (1976) *The Impact of High-Yielding Rice Varieties in Latin America With Special Emphasis on Colombia*. A Preliminary Report. Cali, Colombia, CIAT.

TOQUERO, Z.; B. DUFF; T. ANDEN-LACSINA; e Y. HAYAMI (1975) "Marketable Surplus Functions for a Subsistence Crop: Rice in the Philippines" in *American Journal of Agricultural Economics* 57(4): 705-709.

INFORMATICA

MÉTODO PRÁCTICO PARA CÁLCULO DE TAMAÑOS DE MUESTRA EN ESTUDIOS POR ENCUESTA

Luis Manfredo Reyes Chávez



INTRODUCCIÓN

El muestreo ha sido, es y será un método ampliamente utilizado en la investigación como una forma de obtención de datos. Sin embargo, hay poco conocimiento sobre las formas más apropiadas para obtener los tamaños de muestra necesarios en cada caso.

Adicionalmente, los expertos en la materia tienden a fabricar un halo de misterio en los cálculos, que en la práctica no existe y no debe existir. Es por eso que, con el afán de contribuir a iluminar el panorama, se presenta en este trabajo un método práctico y con el suficiente respaldo teórico para garantizar su aplicabilidad en una amplia gama de situaciones en las que se requiere un cálculo de tamaño de muestra para encuestas.

I. NECESIDAD DEL USO DEL MUESTREO

1. Definiciones básicas

POBLACIÓN. Conjunto de individuos con características comunes, susceptibles de ser medidas. Ejemplo: "El conjunto de los salarios de todos los guatemaltecos mayores de 15 años empleados". De acuerdo con el número de individuos que la forman, la población puede ser finita o infinita.

Un requisito importante para poder definir una población es, que se pueda limitar adecuadamente, y si es necesario, elaborar un listado de cada uno de sus miembros.

MUESTRA. Es un subconjunto extraído de la población. Desde el punto de vista estadístico, la muestra debe reunir los requisitos siguientes:

- Ser extraída al azar (aleatoria) para garantizar que todos los elementos de la población tengan cierta probabilidad de ser extraídos.
- Ser representativa, es decir, que contenga individuos con todas las características de la población bajo estudio.

CENSO. Es un proceso por el cual se obtienen datos de la totalidad de la población. Las principales características de este método son:

- Permite calcular parámetros. Los parámetros, al ser obtenidos, tienen la propiedad de que no cambian.
- Debido a que se mide a toda la población, requiere de un mayor tiempo en el proceso.

- Los costos de obtención de datos también son mayores.
- Su confiabilidad es mayor, pues se mide toda la población.
- Generalmente, no se utiliza por motivos económicos y de tiempo.

ENCUESTA. Es un procedimiento en el cual se obtienen datos de un subconjunto de la población (una muestra), usando para ello un instrumento de recolección de datos llamado "Boleta de Encuesta". Una boleta de encuesta, por la naturaleza de los datos que contiene, conlleva variables tanto cuantitativas como cualitativas.

El hecho de usar sólo una parte de la población, tiene las siguientes implicaciones:

- Se obtienen estimadores en lugar de parámetros.
- Se realiza en un menor tiempo que el censo.
- Se realiza a un costo menor que el censo.
- Su grado de confiabilidad depende de la forma de selección.

CONSECUENCIAS DEL TAMAÑO DE MUESTRA QUE SE SELECCIONE. Para lograr el balance entre tamaño de muestra y la validez estadística, se toman en cuenta los siguientes criterios:

- **Muestra "muy grande"**
 - ▲ Alta confiabilidad estadística
 - ▲ Mayor costo
 - ▲ Mayor tiempo
 - ▲ Se tienen datos innecesarios para llegar a las mismas conclusiones.
- **Muestra "óptima"**
 - ▲ Aceptable confiabilidad estadística
 - ▲ Costo y tiempo de realización adecuados

- **Muestra “muy pequeña”**

- ▲ Poca confiabilidad
- ▲ Poco tiempo
- ▲ Costo reducido

Es por ello que, el secreto del muestreo es encontrar en número óptimo, que permita lograr la suficiente confiabilidad, pero con un costo y tiempo de ejecución aceptables.

NIVEL DE CONFIANZA. Es la probabilidad de que los resultados obtenidos se deban a diferencias reales, y no a la casualidad. Entre varias posibles formas de interpretar esto, se puede usar ésta: si, por ejemplo, se trabaja a un 95% de confianza (que es el valor más usado por la tradición estadística), significa que al repetir 100 veces la misma medida, en 95 veces las diferencias se deberán a los mismos datos y solamente en 5 casos a otras causas.

PRECISIÓN. También se le conoce como “Error de muestreo” y se refiere a errores en la medición de los datos. La precisión se mide en unidades que dependen de la naturaleza de las variables. En el caso de variables cuantitativas, se mide en unidades absolutas (libras, quetzales, etc). Para el caso de variables de proporción (SÍ o NO por ejemplo), se mide en porcentaje. Nuevamente la tradición estadística se impone, estableciendo entre 10%-20% como el valor de precisión usual. La precisión no debe confundirse con la exactitud.

II.
FÓRMULA DE YAMANE PARA
CÁLCULO DE TAMAÑOS DE MUESTRA

La fórmula de Yamane, ha sido ampliamente usada para cálculo de tamaños de muestra, para variables de proporciones.

La fórmula es la siguiente:

$$n = \frac{NZ^2pq}{Nd^2+Z^2pq}$$

En esta ecuación tenemos que:

n = tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

Z = valor de la tabla de áreas bajo la curva normal estandarizada que depende del nivel de confianza.

p = proporción de "éxito", obtenida de estudios previos o mediante un pre-muestreo.

q = proporción de "fracaso", obtenida de estudios previos o a través de un pre-muestreo.

d = precisión relativa (un valor entre 0 y 1).

Cuando no se puede determinar p y q, o no se desea estimarlos por pre-muestreo, se pueden asumir a un valor llamado de varianza máxima, donde $p=q=0.5$

III.
MÉTODO PARA CÁLCULO DE
TAMAÑOS DE MUESTRA PARA ENCUESTAS

Se presenta aquí un método rápido y teóricamente válido para determinar tamaños de muestra

para uso en encuestas. Sin embargo, es importante recalcar que el método es válido bajo los siguientes supuestos:

- a) Se usa un nivel de confianza de 95%.
- b) Los parámetros "p" y "q" de la fórmula de Yamane son desconocidos y se asumen iguales a 0.5 respectivamente.
- c) La boleta contiene variables cuantitativas y cualitativas, pero se usa como base de cálculo una cualitativa de proporciones.

La fórmula usada para los cálculos es la de Yamane, y la tabla que se usa se obtuvo en la internet, en la siguiente dirección:

<http://www.gnv.ifas.ufl.edu/~fairsweb>

Los pasos a seguir son los siguientes:

- a) Conocer el tamaño de la población. Preferiblemente debe tenerse una lista de los miembros de la población de interés.
- b) Seleccionar el nivel de precisión requerido. Como ya se ha dicho anteriormente, el valor más usado es 5% (0.05). Sin embargo, otros valores usados son 3% y 10%.
- c) Buscar en la tabla No. 1 el tamaño de la población. Si no aparece exactamente, se busca el inmediato superior, o se realiza una interpolación lineal.
- d) En la columna que corresponde con el nivel de precisión deseado, aparece el tamaño de muestra adecuado. Debe tomarse en cuenta que, los tamaños de muestra de la tabla son "tamaños mínimos". Es recomendable, si las condiciones del estudio lo permiten, usar un tamaño mayor, para incrementar la precisión.

IV. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA MUESTRA

Dos conceptos distintos son: cuántos elementos forman la muestra, y cuáles.

La selección de la muestra depende del esquema fundamental de muestreo a utilizarse, siendo los métodos más importantes:

1. Selección aleatoria

Los elementos se extraen al azar de todos los posibles. Existen varias formas usuales para ello:

- a) Por tablas de números aleatorios.
- b) Por tómbolas con bolas numeradas.
- c) Por el método de "sombrero y papelitos" que consiste en escribir números en pequeños pedazos de papel, envolverlos y luego extraerlos al azar de un sombrero.
- d) Por medio de software, usando algunas funciones de calculadora o computadora que generan números pseudo-aleatorios.

2. Selección sistemática

En este caso, se selecciona el primer elemento al azar, y luego cada cierto número, que se llama "intervalo de muestreo", que se calcula así:

$$I = N/n$$

Donde i = intervalo de muestreo

N = tamaño de la población

n = tamaño de la muestra

Este método es útil cuando los elementos de la población se encuentran ordenados de alguna

Tabla 1
TAMAÑOS DE MUESTRA PARA UN NIVEL DE CONFIANZA
DE 95%, CON VARIABLES DE PROPORCIONES, P=0.5 Y Q=0.

Tamaño de Población	d=0.03 (3%)	d=0.05 (5%)	d=0.07 (7%)	d=0.1 (10%)
100	100	81	67	51
125	125	96	78	56
150	150	110	86	61
175	175	122	94	64
200	200	134	101	67
225	225	144	107	70
250	250	154	112	72
275	275	163	117	74
300	300	172	121	76
325	325	180	125	77
350	350	187	129	78
375	375	194	132	80
400	400	201	135	81
425	425	207	138	82
450	450	212	140	82
500	500	222	145	83
600	600	240	152	86
700	700	255	158	88
800	800	267	163	89
900	900	277	166	90
1 000	1 000	286	169	91
2 000	714	333	185	95
3 000	811	353	191	97
4 000	870	364	194	98
5 000	909	370	196	98
6 000	938	375	197	98
7 000	959	378	198	99
8 000	976	381	199	99
9 000	989	383	200	99
10 000	1 000	385	201	99
15 000	1 034	390	204	99
20 000	1 053	392	204	100
25 000	1 064	394	204	100
50 000	1 087	397	204	100
100 000	1 099	398	204	100
>100 000	1 111	400	204	100

manera, por ejemplo, las casas a lo largo de una calle. Se ha demostrado en varios estudios que, este método tiene una confiabilidad equivalente a la del método aleatorio.

3. Selección accidental

Este método se usa cuando no se tiene una lista completa de los miembros de la población y no se pueden enumerar totalmente. Por ejemplo, en una encuesta de opinión donde se encuestará a amas de casa que acuden a un mercado. En este caso, el método que se recomienda es seleccionar a las que se va encontrando en el camino.

4. Selección adrede

Se realiza la selección definiendo adrede quiénes serán los miembros de la muestra. Aunque este método no cumple con los preceptos teóricos de aleatoriedad, a veces se usa para tomar datos específicos de individuos de interés (los mejores, los peores, o los representantes típicos de la población).

BIODIVERSIDAD

EL ROL DE LOS HUERTOS FAMILIARES PARA LA CONSERVACIÓN *IN SITU* EN GUATEMALA *

José Miguel Leiva



I. EL ROL DE LOS HUERTOS FAMILIARES EN GUATEMALA

Los huertos familiares son prácticas agroforestales tradicionales que se clasifican dentro de la categoría de agrobosques [Torquibeau, 1994]. Éstos han jugado un rol muy importante en la mayoría de comunidades campesinas en los aspectos de conservación y de diversidad. Su valorización principia a considerarse debido a la alta presión que se ha hecho sobre los recursos naturales, especialmente los bosques. La importancia y el rol de los huertos familiares puede describirse desde los siguientes aspectos: socioeconómico, ecológico y conservación de recursos vegetales.

* Trabajo presentado en la Reunión Global organizada por el IPGRI, sobre Metodología y Planificación de la Investigación de Huertos Familiares, realizada en Cali, Colombia, del 13 al 16 de octubre de 1998.

Socioeconómico

Los huertos familiares juegan un papel muy importante en la economía campesina. Aunque el flujo económico derivado de los ingresos provenientes de la comercialización de los productos de los huertos no se ha cuantificado con exactitud, se sabe que al menos un 30% de la economía campesina depende de la venta de productos vegetales procedentes del huerto. Tal cifra corresponde a aquellos huertos familiares de una amplia y variada composición vegetal, donde los productores venden leña, madera para construcción, frutos, productos agrícolas y plantas medicinales. Muchos de los productos también forman parte de la dieta alimenticia de las familias, con lo cual se ahorran dinero para comprar productos externamente.

Ecológico

Los huertos familiares juegan un importante rol ecológico en el país. Especialmente aquellos formados por tres o más estratos, con el dominio de especies forestales de valor, se constituyen en refugios de fauna silvestre y reguladores del microclima en poblaciones urbanas rurales.

Conservación de recursos genéticos vegetales

Los huertos familiares en Guatemala conservan *in situ* muchas especies vegetales sobre las cuales se ha hecho presión y por lo tanto han desaparecido de los ecosistemas naturales o tienden a desaparecer. En los huertos, implícitamente, los campesinos man-

tienen individuos de poblaciones muy amenazadas en su sitio natural. Los huertos mantienen una reserva genética suficientemente variada que ha asegurado la supervivencia de muchas especies. Las poblaciones han agregado un valor sociocultural a dichas especies y las protegen y conservan como fuentes de semillas con el fin de perpetuarlas. Hay un amplio número de especies vegetales en los huertos familiares en Guatemala, existiendo huertos de mucha complejidad como los de la región de las Verapaces y la zona semiárida, que llegan a tener más de 150 especies en una superficie relativamente pequeña.

II. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HUERTO FAMILIAR EN GUATEMALA

Área

El área que ocupan los huertos familiares en Guatemala es muy variable. Los hay desde 500 hasta 1,500 metros cuadrados. Generalmente la vivienda de la gente está inscrita dentro del huerto familiar lo que permite tener fácil acceso hacia los diferentes componentes del huerto.

Estructura

Existen huertos familiares con un estrato bajo hasta huertos con más de tres estratos. Generalmente los estratos dominantes son ocupados por especies forestales valiosas, a veces árboles frutales valiosos. Los estratos intermedios son ocupados por especies

arbustivas, a veces alimenticias y un estrato bajo compuesto por plantas alimenticias y medicinales.

Composición

La composición de los huertos familiares también es variable en cuanto al número de especies; pero generalmente se encuentran hasta más de 15 componentes entre especies forestales valiosas, árboles frutales, plantas alimenticias y medicinales. Existen huertos familiares en la región de las Verapaces con hasta más de 25 componentes, en tanto que en la región semiárida existen hasta con más de 150 componentes.

III. DESCRIPCIÓN DE HUERTOS FAMILIARES DE GUATEMALA

Huertos familiares de la Región Norte

Esta región abarca, principalmente, los departamentos de Baja Verapaz, Alta Verapaz, Petén, parte de Quiché y Huehuetenango. Es una región muy rica en huertos familiares, encontrándose un amplio número de especies. La región se caracteriza por una temperatura que varía de 24 °C a 36 °C, con precipitación anual que va de los 900 hasta los 2,500 mm. Los suelos son pesados, en su mayoría con presencia alta de arcilla. Generalmente, en estos huertos familiares, se encuentran las especies del cuadro 1.

En los estudios iniciales sobre huertos familiares en Guatemala, se han elaborado diagramas con base en perfiles laterales y de planta. Los mismos reflejan

la composición y estructura, así como la complejidad de los huertos familiares. Un ejemplo, se presenta en las figuras 1 y 2.

Huertos familiares de la región sur

En la región sur de Guatemala, los huertos familiares presentan también una composición variada, según el lugar. Esta región comprende la planicie

Cuadro 1
ESPECIES FORESTALES Y CULTIVOS PRESENTES EN LOS HUERTOS FAMILIARES DE LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA

Nombre común	Nombre científico	Usos
Injerto	<i>Pouteria viridis</i>	Frutos comestibles
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Frutos comestibles
Cítricos	<i>Citrus spp</i>	Frutos comestibles
Pimienta gorda	<i>Pimienta dioica</i>	Frutos comestibles
Pacaya	<i>Chamaedorea spp</i>	Frutos comestibles, hojas
Café	<i>Coffea arabica</i>	Frutos, leña
Banano	<i>Musa sapientum</i>	Frutos comestibles
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>	Frutos comestibles
Mango	<i>Manguifera indica</i>	Frutos comestibles
Anona	<i>Anona squamosa</i>	Frutos comestibles
Guayaba	<i>Psidium guajaba</i>	Frutos comestibles, leña
Zapote	<i>Pouteria sapote</i>	Frutos comestibles
Chico	<i>Manilkara sapote</i>	Frutos, madera
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Madera
Caoba	<i>Swietenia macrophyla</i>	Madera
Nance	<i>Birsonima crassiflora</i>	Frutos comestibles
Ramón	<i>Brosimun alicastrum</i>	Frutos forraje
Cardamomo	<i>Eletaria cardamomun</i>	Frutos
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Frutos comestibles
Achiote	<i>Bixa orellana</i>	Frutos comestibles
Caimito	<i>Chrysophillum caimito</i>	Frutos comestibles
Chucte	<i>Persea schiedeana</i>	Frutos comestibles

Figura 1
Huerto familiar en Chavacal, La Tinta, Panzós, Alta Verapaz

- A- *Gliricidia sepium* (Jacq) Stand
- B- *Musa* sp.
- H- *Cajanus indicus* Spreng
- N- *Theobroma cacao* L.
- O- *Piper auritum* HBK
- P- *Brosimum alicastrum* Swartz

ELEVACION

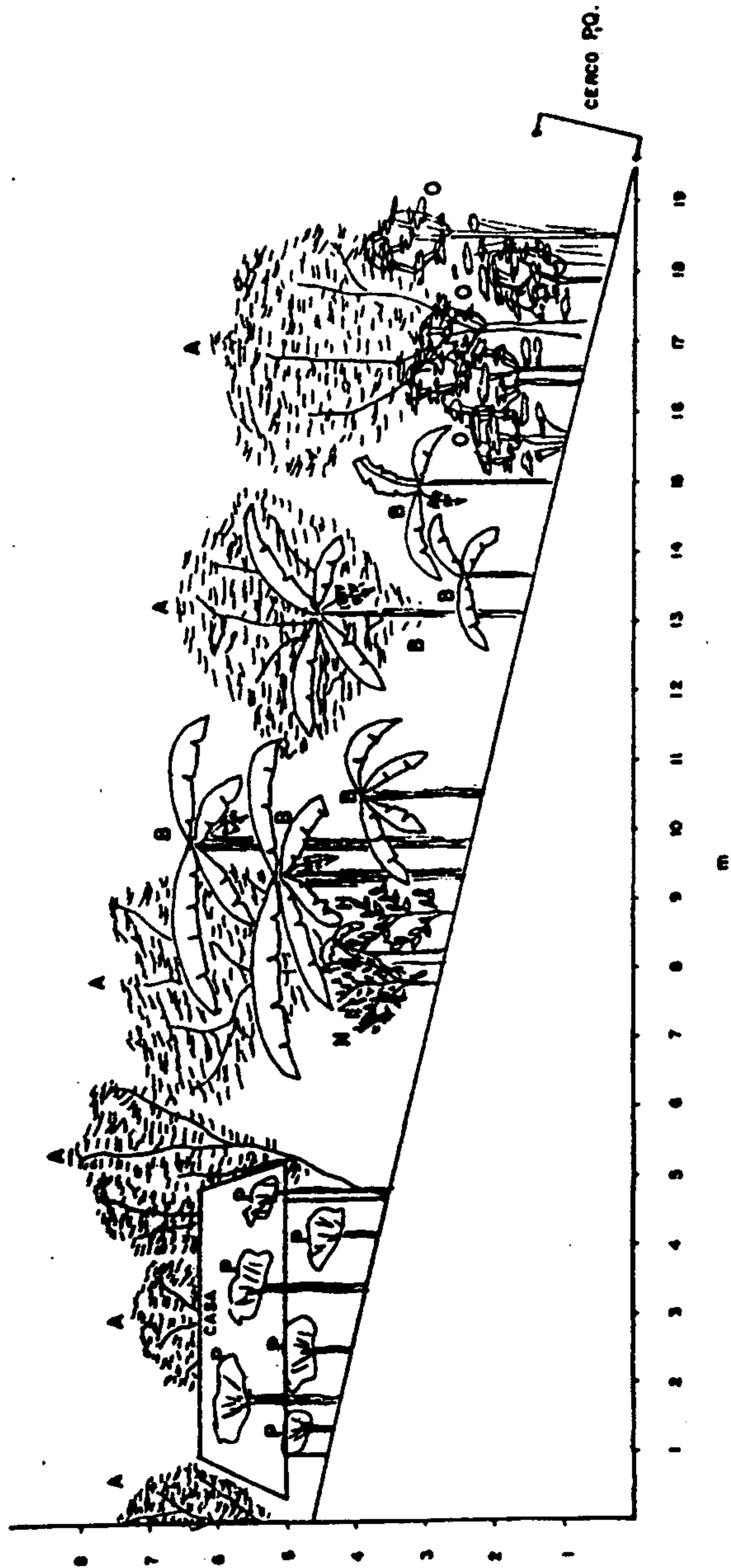
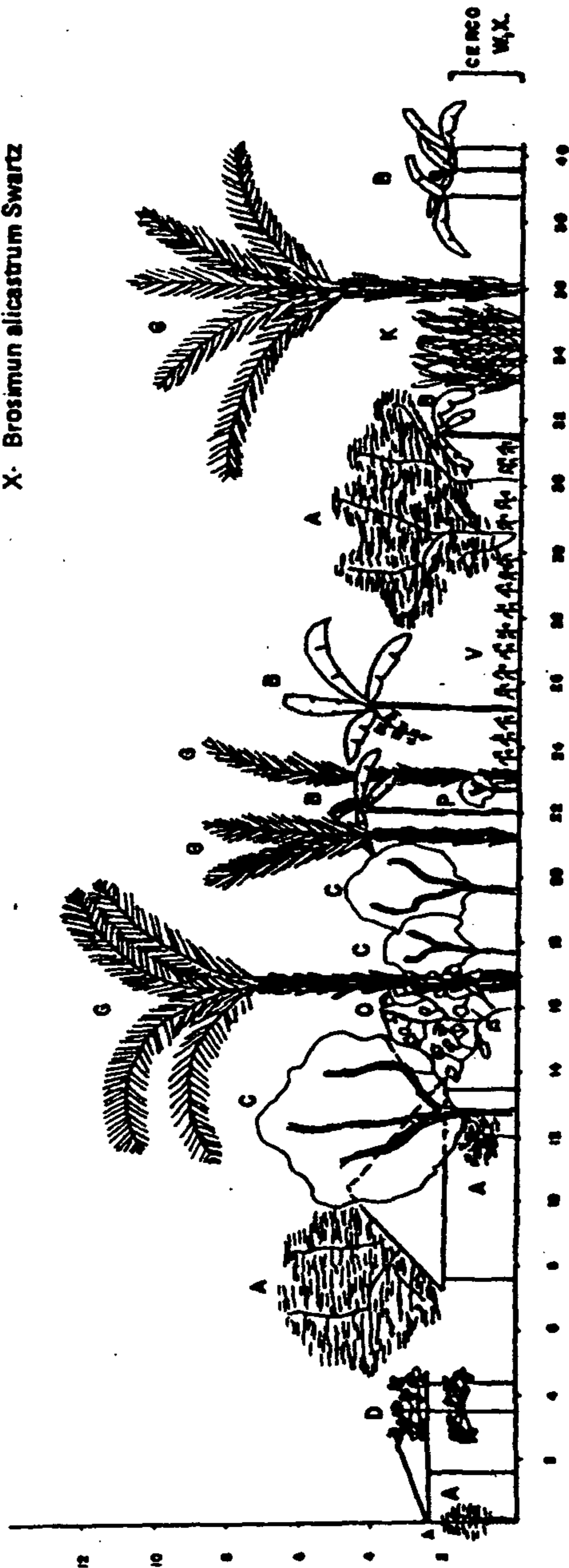


Figura 2
Huerto familiar en Chichipate, El Estor, Izabal

- B- Musa sp.
- C- Mangifera indica L.
- D- Terminalia catappa Steud
- E- Coffea sp.
- F- Cocos nucifera L.
- G- Orbignya cohume (Mart) Dehlgren
- H- Theobroma cacao L.
- I- Cecropia sp.
- J- Bimbacaca aquatica subl.
- k- Sacharum officinarum
- L- Spondias sp.

- M- Anacardium occidentale L.
- N- Inga paterna
- O- Bixa orellana
- P- Citrus sp.
- Q- Crescentia alota HBK
- R- Byronima crassifolia
- S- Cajanus indicus Spreng
- T- Artocarpus altilis (Parkinson) Fosberg
- U- Erithrina sp.
- V- Zea mays
- W- Hibiscus rosa-sinensis L.
- X- Brosimum alicastrum Swartz

ELEVACION



del litoral del Pacífico y alcanza parte de los departamentos de Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Mazatenango, Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos. Se caracteriza por tener un clima cálido, con temperaturas que oscilan entre 20 °C a 35 °C, una precipitación anual que varía entre 1,000 a 2,600 mm. La altura sobre el nivel del mar va de 300 a 500 metros. Los suelos en su mayoría son profundos de origen volcánico.

Huertos familiares de la región oriental

Al igual que los anteriores, los huertos familiares de la región oriental del país, presentan una composi-

Cuadro 2
ESPECIES FORESTALES Y CULTIVOS PRESENTES EN LOS
HUERTOS FAMILIARES DE LA REGIÓN SUR DE GUATEMALA

Nombre común	Nombre científico	Usos
Cítricos	<i>Citrus spp</i>	Frutos
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Frutos, madera
Caimito	<i>Chrysophyllum caimito</i>	Frutos, madera
Guanaba	<i>Anona muricata</i>	Frutos
Anona	<i>Anona squamosa</i>	Frutos
Chico	<i>Manilkara sapote</i>	Frutos, madera
Coco	<i>Cocus nucifera</i>	Frutos
Jocote	<i>Spondias spp</i>	Frutos
Mazapán	<i>Artocarpus spp</i>	Frutos
Banano	<i>Musa sapientum</i>	Frutos
Papaya	<i>Carica papaya</i>	Frutos
Madrecacao	<i>Gliricidia sepium</i>	Madera
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Madera
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Frutos
Volador	<i>Terminalia catapa</i>	Madera
Conacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Madera

ción variada. Esta región comprende parte de la zona semiárida de Guatemala y se localiza principalmente en los departamentos de Zacapa, Chiquimula, El Progreso, parte de Jutiapa, Jalapa y Baja Verapaz. El clima es cálido, con temperaturas que alcanzan 27 °C y alturas que varían de 300 a 800 msnm. La

Cuadro 3
ESPECIES FORESTALES Y CULTIVOS PRESENTES EN LOS HUERTOS FAMILIARES DE LA REGIÓN ORIENTAL DE GUATEMALA

Nombre común	Nombre científico	Usos
Chico	<i>Manilkara sapote</i>	Frutos, madera
Zapote	<i>Pouteria sapote</i>	Frutos, madera
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Frutos, madera
Mango	<i>Manguifera indica</i>	Frutos
Cítricos	<i>Citrus spp</i>	Frutos
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>	Frutos
Nance	<i>Byrsonima crassiflora</i>	Frutos, leña
Jocote	<i>Spondias spp</i>	Frutos, madera
Mamey	<i>Lucuma spp</i>	Frutos
Sunza	<i>Lycania spp</i>	Frutos, madera
Achiote	<i>Bixa orellana</i>	Frutos
Papaya	<i>Carica papaya</i>	Frutos
Anona	<i>Anona squamosa</i>	Frutos
Madrecacao	<i>Gliricidia sepium</i>	Madera
Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Frutos, madera
Morro	<i>Crescentia alata</i>	Frutos
Aripín	<i>Caesalpinia velutina</i>	Madera leña
Paraíso	<i>Melia azederach</i>	Madera
	<i>Prosopis juliflora</i>	Madera, fijación de nitrógeno
Flor amarilla	<i>Cassia siamea</i>	Madera
Gandul	<i>Cajanus cajan</i>	Frutos
Guaba	<i>Inga spp</i>	Madera
Café	<i>Coffea arabica</i>	Frutos, leña
Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	Frutos, madera

precipitación varía de 500 a 900 milímetros, hasta con ocho meses de periodo seco. Los suelos en esta región presentan afloramientos rocosos, generalmente poco profundos. En el cuadro 3 se presentan las principales especies presentes en los huertos familiares de la región oriental.

También en los estudios realizados en los huertos familiares de la región oriental, se han elaborado algunos diagramas que incluyen perfiles laterales y de planta.

En la descripción de los huertos familiares indicados arriba, no se incluyeron las plantas que ocupan el estrato bajo, entre ellos principalmente plantas medicinales y algunos cultivos agrícolas. Entre los cultivos, se encuentran: piña, sorgo, frijol y maíz, cultivados en áreas separadas en los huertos, mientras que las plantas medicinales se encuentran cultivadas en macetas o bien en el suelo alrededor de las viviendas. Por otro lado, es común encontrar cercas vivas protegiendo los huertos y algunas veces barreras vivas como prácticas de conservación de suelos.

IV. PRIORIDADES PARA LA CONSERVACIÓN *IN SITU* EN LOS HUERTOS FAMILIARES EN GUATEMALA

Es necesario hacer un inventario completo por región de los huertos familiares con el fin de realizar lo siguiente:

- a) Un listado de especies vegetales presentes en los huertos.

- b) Colección de muestras de las especies para herbario.
- c) Elaborar diagramas (perfiles) estructurales de los huertos.
- d) Elaborar planes de manejo de los huertos familiares que permitan el aprovechamiento sostenido de las especies y su conservación.
- e) Elaborar una base de datos de huertos familiares.
- f) Estudios de densidad.
- h) Estudios de competencia interespecífica por factores ambientales.

LITERATURA CONSULTADA

- ALTIERI, M. Y MERRICK, L. 1987. *In situ* conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany* 41(1): 8696.
- BARZETTI, V. Ed. 1983. *Parques y progreso*. UICN/BID. 256 p.
- CRUZ, J. R. DE LA. 1976. Clasificación de zonas de vida de Guatemala basado en el sistema Holdridge. INAFOR. 24 p.
- DAMANIA, A. 1996. Biodiversity conservation: a review of options complementary to stand *ex situ* methods. *Plant Genet Resources Newsletter* (107): 1-18.
- LEIVA, J. M. Y LÓPEZ, J. 1985. Los sistemas agroforestales de la cuenca del río Polochic: composición y características. *Tikalía (Guatemala)* 1 y 2: 47-84.
- MACKINNON, J. Y CHILD, G. Y THORSELL, J. 1990. *Manejo de áreas protegidas en los trópicos*. UICN. 312 p.

NAIR, P. K. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers/ICRAF. Pp 85-97.

TORQUEBIAN, E. 1994. An introduction to the concepts of agroforestry. ICRAF, Nairobi, Kenya. 53 p.

Los Autores

Domingo Amador

Ingeniero Agrónomo y Maestro en Biotecnología Vegetal. Profesor de la Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos.

José Miguel Leiva

Profesor-Investigador, Instituto de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ariel Ortiz

Ingeniero Agrónomo y Doctor en Economía Agrícola. Profesor de la Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos.

Luis Reyes Chávez

Ingeniero Agrónomo. Catedrático de la Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos. Universidad de San Carlos.

Mamerto Reyes Hernández

Ingeniero Agrónomo. Investigador del Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola - ICTA.

Eddi Vanegas

Ingeniero Agrónomo y Maestro en Ciencias: suelo y agua. Profesor de la Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos.